

Acacia: Sistema de apoyo a la toma de decisiones académicas para la planificación curricular de estudiantes de Ingeniería de Sistemas

Alejandra Valencia Rúa
Dpto. Ingeniería de Sistemas
Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia
alejandraru@uninorte.edu.co

Elvira E. Florez Carbonell
Dpto. Ingeniería de Sistemas
Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia
elvira@uninorte.edu.co

Juan M. Carrasquilla Escobar
Dpto. Ingeniería de Sistemas
Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia
jmcarrasquilla@uninorte.edu.co

Eduardo D. Angulo Madrid
Dpto. Ingeniería de Sistemas
Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia
edangulo@uninorte.edu.co

Wilson Nieto Bernal
Dpto. Ingeniería de Sistemas
Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia
wnieto@uninorte.edu.co

Abstract—Academic trajectory planning in higher education is a complex decision-making process, particularly in engineering programs where prerequisite chains, co-requisites, credit limits, and curriculum dependencies strongly influence students' progression and graduation time. Despite the existence of institutional platforms for semester registration, these systems usually focus on short-term administrative processes and do not provide strategic support for long-term curriculum planning. This work proposes the design and implementation of an intelligent decision support system aimed at modeling and optimizing academic trajectories for Systems and Computer Engineering students from Universidad del Norte at Barranquilla, Colombia. The proposed solution represents the curriculum structure as a Directed Acyclic Graph (DAG), where courses are modeled as nodes and prerequisite relationships as directed edges. Based on this representation, the system integrates simulation mechanisms and multi-criteria optimization techniques to generate feasible academic pathways under institutional constraints and individual student preferences. The architecture includes modules for data structuring, trajectory simulation, curriculum validation, analytics, and recommendation generation. The expected contribution is a technological tool that improves academic planning, reduces curricular bottlenecks, and supports informed decision-making through future scenario projection and optimized course recommendations.

Index Terms—Academic planning, decision support systems, curriculum modeling, directed acyclic graphs, multi-objective optimization, educational data systems

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han desarrollado diversas herramientas orientadas al fortalecimiento de la educación superior, especialmente en los ámbitos de la gestión académica y el acompañamiento estudiantil. En este contexto, la analítica académica para la toma de decisiones ha crecido con gran auge como mecanismo para optimizar procesos institucionales y mejorar la efectividad educativa [1]. De manera complementaria, los sistemas inteligentes basados

en inteligencia artificial han hecho posible la creación de entornos de aprendizaje adaptativos capaces de ofrecer retroalimentación en tiempo real sobre el desempeño y progreso de los estudiantes [2]. No obstante, a pesar de la disponibilidad de plataformas digitales enfocadas a diferentes procesos universitarios, como la gestión del plan de estudio, la planificación estratégica de la trayectoria académica continúa siendo, en gran medida, un proceso que depende de la interpretación individual del estudiante, sin herramientas que modelen explícitamente las restricciones curriculares y las implicaciones futuras de sus decisiones en su desarrollo profesional durante sus estudios.

En programas de ingeniería de la Universidad del Norte¹, donde la estructura curricular se encuentra organizada mediante secuencias estrictas de prerequisites y restricciones de carga académica por semestre, la toma de decisiones académicas adquiere un carácter estratégico que requiere intervención mediante herramientas formales de apoyo. Cada elección de asignaturas no solo impacta el semestre inmediato, sino que incide directamente en la continuidad, eficiencia y duración total del proceso formativo. La ausencia de herramientas que permitan visualizar de manera integral estas dependencias y simular escenarios futuros puede derivar en retrasos en la graduación, bloqueos en la progresión curricular, generación de cuellos de botella académicos y desbalances en la distribución de la carga académica.

Desde el enfoque de la Ingeniería de Sistemas, esta problemática puede abordarse mediante modelos formales de representación y técnicas de optimización. La modelación curricular mediante grafos permite representar de manera estructurada las relaciones de dependencia entre asignaturas,

¹División de Ingenierías Uninorte

alineándose con los enfoques basados en *Knowledge Graphs*, en español, grafos de conocimiento, que proponen la generación de trayectorias de aprendizaje coherentes a partir de relaciones explícitas de prerrequisitos y progresión cognitiva [3].

Por otro lado, la planificación académica puede entenderse como un problema de toma de decisiones bajo múltiples criterios, donde variables como el tiempo estimado de graduación, la carga académica por semestre y la coherencia estructural del plan deben evaluarse simultáneamente. En este sentido, los enfoques de optimización y evaluación multicriterio en sistemas de apoyo a la decisión proporcionan un marco metodológico adecuado para analizar alternativas y resolver conflictos entre criterios concurrentes [4]. La integración de estos elementos en un sistema inteligente de apoyo a la toma de decisiones constituye una base conceptual y computacional para el desarrollo de soluciones orientadas a la optimización de trayectorias académicas.

En este contexto, el presente trabajo propone el diseño e implementación de un sistema inteligente de apoyo a la toma de decisiones académicas que permita modelar la estructura curricular como un grafo dirigido acíclico de prerrequisitos, simular diferentes escenarios de avance académico y generar propuestas de trayectoria optimizadas bajo múltiples criterios. El sistema integra restricciones institucionales formales, tales como prerrequisitos y límites de créditos por semestre, con parámetros configurables asociados al perfil del estudiante, permitiendo evaluar alternativas de manera estructurada y prospectiva.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito de la educación superior, la planificación de la matrícula académica constituye un proceso de carácter complejo y multifactorial, el cual, en numerosos casos, se desarrolla bajo una perspectiva predominantemente orientada al corto plazo. A pesar de que los planes de estudio se encuentran formalmente definidos y organizados conforme a lineamientos institucionales de la Universidad del Norte, la interpretación integral de su estructura y la comprensión de las implicaciones que cada asignatura puede tener sobre la progresión académica futura no siempre resultan evidentes para los estudiantes. Esta problemática adquiere especial relevancia en programas como Ingeniería de Sistemas², donde la secuencia curricular está determinada por relaciones de dependencia entre asignaturas, requisitos previos obligatorios y restricciones de carga académica que inciden directamente en el ritmo y la continuidad del avance formativo.

Sin embargo, en la práctica, muchos estudiantes toman decisiones de matrícula basadas únicamente en la disponibilidad inmediata de cursos o en recomendaciones informales, sin

contar con herramientas que les permitan analizar el impacto estructural de las consecuencias resultantes sobre su trayectoria completa. La ausencia de sistemas que modelen explícitamente las dependencias curriculares puede generar retrasos en la graduación, acumulación de cuellos de botella académicos o sobrecarga innecesaria de créditos en determinados semestres. Aunque algunas plataformas institucionales permiten gestionar el horario del semestre actual³, estas no suelen ofrecer mecanismos de simulación ni optimización que apoyen una planificación integral del avance académico, problemas propuestos en la Figura 1.



Fig. 1. Diagrama propuesto de la descripción del problema

Esta problemática se describe en la Figura 1, que también ha sido ampliamente documentada en la literatura científica. Diversos estudios han señalado que los sistemas institucionales tradicionales en educación superior carecen de capacidades analíticas para apoyar la planificación académica a largo plazo [5]. En este sentido, Samaranyake et al. evidencian que la ausencia de herramientas estructuradas dificulta la exploración de múltiples trayectorias académicas y la evaluación de combinaciones viables de cursos.

Adicionalmente, investigaciones como la de Atalla et al. [6] destacan que la complejidad de las redes de prerrequisitos y la falta de modelado explícito de estas dependencias pueden conducir a decisiones académicas no tan óptimas, afectando la eficiencia del progreso estudiantil. De manera similar, Nguyen y Nguyen [7] argumentan que los sistemas de recomendación convencionales no consideran adecuadamente las restricciones curriculares, lo que puede generar sugerencias inviables desde el punto de vista académico.

Por otra parte, estudios basados en técnicas de optimización y programación por restricciones han demostrado que la planificación académica puede abordarse como un problema

²Programa de Ingeniería de Sistemas y Computación Uninorte

³Aplicación MiHorario Uninorte

formal de toma de decisiones bajo múltiples restricciones, evidenciando que la falta de herramientas computacionales limita la capacidad de generar trayectorias óptimas y coherentes [8]. En conjunto, estos hallazgos respaldan la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas que permitan modelar la estructura curricular, simular escenarios académicos y optimizar la toma de decisiones estudiantiles.

A nivel internacional, la importancia de la planificación académica y la estructuración de trayectorias formativas ha sido respaldada por estudios empíricos recientes que analizan su relación con el progreso académico estudiantil. Por ejemplo, el estudio de Minaya et al. [9], basado en el análisis de 62 instituciones de educación superior que implementaron reformas tipo guided pathways, evalúa indicadores concretos como la persistencia de primer a segundo año y la acumulación de créditos durante el primer año, incluyendo créditos en matemáticas y áreas STEM. Los autores encuentran asociaciones positivas entre la adopción de prácticas institucionales orientadas al mapeo curricular, el acompañamiento académico y el uso de analítica educativa, y mejoras en los resultados tempranos de avance académico en determinados contextos estatales. Estos resultados evidencian que la organización estructurada de las trayectorias académicas y el acompañamiento en la toma de decisiones curriculares influyen directamente en la continuidad y el progreso eficiente del estudiante, argumento que refuerza la necesidad de contar con herramientas que permitan analizar dependencias curriculares, simular escenarios de avance y apoyar la planificación de la matrícula con una visión integral y prospectiva de la trayectoria académica.

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo puede el desarrollo de un sistema inteligente, basado en la modelación curricular mediante grafos y técnicas de optimización multicriterio, contribuir a la planificación, simulación y optimización de trayectorias académicas en estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte?*

Para responder a esta pregunta, el presente proyecto propone desarrollar un sistema de apoyo a la toma de decisiones académicas que permita modelar la estructura curricular mediante grafos, simular diferentes escenarios de trayectoria y generar propuestas optimizadas considerando tanto restricciones institucionales (prerrequisitos, correquisitos, número de créditos disponibles por semestre y proyección de malla) como preferencias individuales del estudiante para su futuro desarrollo profesional. La propuesta busca aportar una herramienta tecnológica que facilite la planificación estratégica de la carrera, reduzca riesgos de retraso académico y permita evaluar alternativas como prácticas profesionales o ajustes en la carga de créditos.

III. JUSTIFICACIÓN

Diversos estudios han señalado que la planificación estratégica de la trayectoria académica en programas de educación superior, especialmente en carreras de ingeniería, constituye un factor determinante para la eficiencia del proceso formativo, la culminación oportuna del mismo y la coherencia estructural del programa académico [5], [8]. En el caso del programa de Ingeniería de Sistemas, el recorrido formativo se organiza a partir de una secuencia académica basada en redes de prerrequisitos que pueden modelarse formalmente como grafos dirigidos acíclicos, donde cada asignatura depende de condiciones previas específicas [6]. Estas condiciones comprenden reglas de habilitación entre asignaturas, límites de créditos por semestre y combinaciones de requisitos académicos que deben satisfacerse simultáneamente, lo que implica que cada decisión de matrícula puede influir directamente en la continuidad y viabilidad estructural del proceso formativo.

Cuando no se dispone de mecanismos formales que permitan examinar estas relaciones de manera sistemática y anticipada, el estudiante carece de una base analítica que le permita proyectar su trayectoria de forma estratégica. Investigaciones recientes han mostrado que la ausencia de herramientas de apoyo a la decisión limita la capacidad para evaluar escenarios alternativos y optimizar la distribución de carga académica bajo múltiples restricciones [8], [10]. Esta carencia reduce la posibilidad de anticipar el impacto de las decisiones individuales en la continuidad y eficiencia del proceso formativo, lo que refuerza la necesidad de sistemas inteligentes capaces de modelar explícitamente las dependencias curriculares y generar trayectorias académicamente viables y optimizadas.

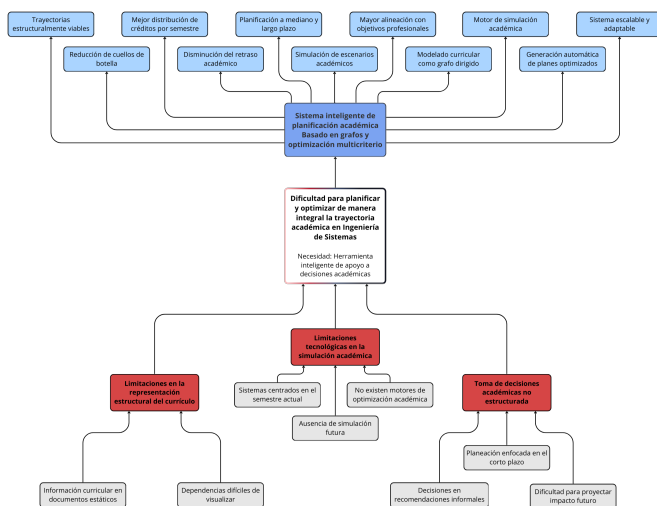


Fig. 2. Diagrama del árbol del problema

En la figura 2 se presenta el árbol del problema, herramienta gráfica que permite visualizar de forma estructurada las causas y consecuencias asociadas a la dificultad en la planificación estratégica del avance académico en el programa de Ingeniería de Sistemas.

En el entorno universitario, las plataformas institucionales existentes se orientan principalmente a procesos administrativos asociados al registro de asignaturas en el periodo académico vigente. Si bien estas herramientas facilitan la organización operativa del semestre, no incorporan mecanismos que permitan analizar la trayectoria curricular de manera integral ni proyectar escenarios futuros de formación. Samaranayake et al. señalan que la planificación académica tradicional carece de soporte estructural y analítico suficiente, lo que dificulta la exploración de múltiples rutas curriculares y la evaluación de combinaciones posibles de requisitos académicos [5]. Asimismo, se ha evidenciado que los sistemas convencionales de recomendación no representan explícitamente dependencias curriculares complejas, lo que puede derivar en sugerencias académicamente inviables [7].

Esta ausencia de funcionalidades analíticas limita la capacidad del estudiante para evaluar alternativas estratégicas, tales como la incorporación de prácticas profesionales, la reorganización de su avance o la recuperación de materias previamente no aprobadas. En consecuencia, la planificación académica tiende a desarrollarse sin una evaluación estructurada de sus implicaciones a largo plazo, lo que puede traducirse en prolongación del tiempo de graduación, desbalance en la carga académica y menor coherencia entre el recorrido formativo y las metas profesionales planteadas. Investigaciones recientes han demostrado que la estructura curricular, cuando se modela formalmente como una red dirigida de prerrequisitos, influye en el tiempo de graduación y en la solución de cuellos de botella académicos [8].

El diseño e implementación de una herramienta inteligente para el soporte de decisiones académicas permite materializar la aplicación de modelos formales de representación estructural y análisis de escenarios para la proyección. La literatura ha demostrado que el modelado curricular mediante grafos dirigidos acíclicos facilita la identificación de dependencias críticas y la evaluación estructural de trayectorias académicas [6]. De igual manera, la planificación curricular ha sido conceptualizada como un problema de decisión multicriterio susceptible de abordarse mediante programación por metas y métodos jerárquicos de ponderación [10], así como mediante técnicas de programación por restricciones que permiten generar trayectorias académicas óptimas bajo restricciones formales [11].

En consecuencia, la implementación de una plataforma que permita modelar la estructura curricular, simular alternativas de trayectoria y generar propuestas optimizadas constituye una contribución tecnológica alineada con los principios de modelado formal y optimización aplicados a la gestión académica universitaria. Su desarrollo puede fortalecer la planificación estratégica del estudiante, mejorar la eficiencia del proceso formativo y promover la incorporación de enfoques inteligentes en la toma de decisiones académicas dentro del entorno universitario.

IV. OBJETIVOS

A. *Objetivo General*

Diseñar e implementar un sistema inteligente de apoyo a la toma de decisiones que permita presentar de forma dinámica el plan de estudio académico de estudiantes de ingeniería de sistemas.

B. *Objetivos Específicos*

- Analizar la estructura curricular del programa de Ingeniería de Sistemas, identificando prerrequisitos, dependencias y restricciones académicas necesarias para su modelado formal.
- Diseñar la arquitectura lógica del sistema, definiendo el plan de estudios como un grafo dirigido acíclico que represente formalmente las relaciones de dependencia y permita la simulación de trayectorias académicas.
- Desarrollar un módulo de simulación académica que permita generar y evaluar múltiples escenarios de trayectoria curricular del estudiante bajo diferentes configuraciones de carga académica.
- Implementar un mecanismo de optimización multicriterio que genere trayectorias académicas viables considerando restricciones institucionales, límites de créditos y variables individuales del estudiante.
- Validar el prototipo mediante la verificación del cumplimiento de restricciones institucionales y la evaluación de la coherencia estructural, junto con la claridad de recomendaciones generadas.

V. MARCO TEÓRICO

La planificación académica en educación superior constituye un desafío creciente debido a la complejidad estructural de los planes de estudio y a la diversidad de trayectorias que un estudiante puede seguir a lo largo de su formación. Este proceso implica no solo cumplir requisitos curriculares, sino también tomar decisiones que pueden afectar significativamente el ritmo de graduación y la coherencia del progreso académico [5]. En programas de ingeniería, particularmente en ingeniería de sistemas, la progresión curricular está condicionada por múltiples prerrequisitos, cadenas de dependencia entre asignaturas, restricciones de créditos por semestre y opciones estratégicas como prácticas profesionales, dobles titulaciones o recuperación de materias, lo cual hace que cada decisión de matrícula deba ser evaluada cuidadosamente en función de su impacto a corto y largo plazo. Esta complejidad ha motivado que, en la literatura reciente, la planificación académica sea abordada como un problema de soporte a la toma de decisiones, en el cual la construcción de rutas de estudio factibles requiere modelar explícitamente las restricciones institucionales y, de manera complementaria, incorporar criterios individuales del estudiante para evaluar alternativas y orientar la selección de cursos hacia objetivos académicos y personales [8].

En este contexto, han emergido sistemas inteligentes orientados a apoyar la toma de decisiones en entornos educativos mediante la aplicación de técnicas avanzadas de inteligencia artificial, análisis de datos y modelos estructurales de conocimiento. Una línea de trabajo significativa en este campo corresponde al uso de Knowledge Graphs (KGs) para representar semánticamente la estructura del currículo y explorar la red de relaciones existentes entre cursos, prerrequisitos y temas académicos [4]. Investigaciones recientes han demostrado que los enfoques basados en grafos de conocimiento pueden mejorar la precisión y relevancia de las recomendaciones, ya que representan explícitamente la lógica del dominio educativo y permiten un razonamiento más profundo sobre la progresión académica [12]. No obstante, muchas soluciones actuales se han centrado principalmente en recomendar recursos o cursos individuales sin abordar integralmente la planificación de trayectorias completas a largo plazo, lo cual constituye una necesidad fundamental para el desarrollo de herramientas de apoyo a estudiantes de ingeniería que buscan optimizar su avance curricular bajo múltiples criterios.

Frente a estas limitaciones, Nguyen y Nguyen [7] proponen un framework de recomendación de cursos en educación superior basado en el uso de grafos de conocimiento como mecanismo estructural para modelar planes de estudio. Su planteamiento parte de la limitación de los sistemas tradicionales de recomendación, los cuales no representan explícitamente las dependencias curriculares y, por tanto, pueden generar sugerencias académicamente inviables. Para superar esta debilidad, los autores modelan las asignaturas, sus prerrequisitos, límites de créditos y relaciones curriculares dentro de un grafo estructurado que permite integrar restricciones formales del programa académico con mecanismos de personalización. De esta manera, el sistema no solo recomienda cursos según preferencias del estudiante, sino que garantiza el cumplimiento de reglas institucionales.

Un aporte clave del trabajo es la distinción entre restricciones estructurales fijas como prerrequisitos, dependencias curriculares y límites de créditos, y factores variables asociados al perfil del estudiante, tales como su desempeño académico, preferencias de carga y objetivos profesionales. Esta integración permite que el sistema genere recomendaciones académicamente viables y personalizadas de manera simultánea. En la validación experimental, los autores compararon las recomendaciones del framework con las sugeridas por expertos académicos, obteniendo una alta consistencia entre ambos enfoques, lo que evidencia que el modelo logra capturar adecuadamente la lógica curricular y los criterios utilizados en la asesoría tradicional [7]. Estos resultados demuestran que la representación estructurada del currículo mediante grafos no solo mejora la coherencia de las recomendaciones, sino que también fortalece la confiabilidad del sistema como herramienta de apoyo a la toma de decisiones, fundamento que resulta especialmente relevante

para el desarrollo de un sistema que busque planificar y optimizar trayectorias académicas completas en contextos de ingeniería.

En línea con los enfoques orientados por datos, Du [13] propone un sistema de toma de decisiones académicas basado en análisis data-driven para optimización curricular en educación superior. El modelo integra técnicas de evaluación multicriterio y análisis cualitativo para mejorar la coherencia del diseño curricular y la asignación de créditos. Si bien el estudio demuestra que los sistemas basados en datos pueden incrementar la precisión en procesos de optimización educativa, su enfoque se orienta principalmente al análisis de desempeño y ajustes estructurales del currículo, sin abordar explícitamente la simulación prospectiva de trayectorias académicas individuales ni el modelado formal de dependencias curriculares mediante grafos.

De manera complementaria, estudios como el realizado por Skaggs han abordado la planificación académica como un problema formal de optimización bajo restricciones curriculares, proponiendo el uso de constraint programming para generar trayectorias de grado personalizadas y factibles [8]. En este enfoque, los requisitos del plan de estudios, los prerrequisitos, la disponibilidad de asignaturas y las preferencias del estudiante son modelados como restricciones dentro de un sistema computacional capaz de explorar múltiples rutas académicas válidas.

A partir de esta formalización, el modelo permite analizar distintos escenarios de progreso académico y seleccionar trayectorias que optimicen criterios relevantes como el tiempo de graduación, la distribución equilibrada de la carga académica y la coherencia estructural del avance formativo. Los resultados del estudio evidencian que el modelado curricular mediante técnicas de optimización no solo facilita la generación automática de planes académicos viables, sino que también mejora la capacidad de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones para recomendar rutas estratégicas alineadas con las restricciones institucionales y los objetivos del estudiante.

Desde la perspectiva de la recomendación personalizada en entornos de aprendizaje, Baig et al. [14] desarrollan un sistema basado en Knowledge Graphs y técnicas de graph embedding para personalizar contenidos educativos en plataformas de e-learning. El framework propuesto integra representación semántica, construcción de comunidades y aprendizaje automático para mitigar problemas como el cold-start y mejorar la adaptabilidad de las recomendaciones. No obstante, el enfoque se centra principalmente en la recomendación de recursos individuales y no en la planificación estratégica de trayectorias académicas completas bajo restricciones curriculares formales, lo cual evidencia la diferencia entre sistemas de recomendación de contenidos y sistemas de optimización estructural de rutas formativas.

De la misma forma, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones en entornos educativos suelen estructurarse a partir de arquitecturas por capas que separan la gestión de datos, el procesamiento analítico y la generación de recomendaciones, con el objetivo de garantizar modularidad, escalabilidad y trazabilidad en los procesos de decisión [4]. En este tipo de arquitecturas, es común identificar una capa de adquisición de datos, una capa de modelado del conocimiento y una capa de análisis y soporte a decisiones, las cuales interactúan de manera integrada para transformar información académica en conocimiento útil para la planificación.

De manera complementaria, la literatura ha integrado técnicas de optimización y simulación dentro de la capa de procesamiento, permitiendo abordar la planificación académica como un problema de decisión bajo múltiples restricciones [5]. En estos enfoques, los modelos computacionales combinan reglas institucionales, variables del estudiante y criterios de evaluación para generar trayectorias académicas factibles y optimizadas. Asimismo, los sistemas basados en datos (data-driven) han demostrado ser efectivos en la mejora de procesos de toma de decisiones educativas mediante el análisis cuantitativo de variables académicas [13].

En términos tecnológicos, las arquitecturas modernas de estos sistemas tienden a implementarse como aplicaciones web soportadas por servicios backend que gestionan la lógica de negocio, integrando bases de datos relacionales para el almacenamiento estructurado de información y bases de datos orientadas a grafos para la representación de relaciones complejas. Este enfoque híbrido permite aprovechar la eficiencia del almacenamiento tradicional junto con la capacidad expresiva de los grafos para modelar estructuras curriculares de manera más precisa.

Adicionalmente, tecnologías emergentes como los modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) han comenzado a incorporarse en entornos educativos para apoyar procesos de generación de contenido, análisis y asistencia inteligente, contribuyendo al desarrollo de soluciones más adaptativas e innovadoras [14]. Aunque su aplicación en la planificación estructural aún es limitada, su integración representa una oportunidad para enriquecer la interacción usuario-sistema y mejorar la interpretabilidad de las recomendaciones generadas.

En este tipo de sistemas, la definición de la arquitectura no puede desligarse de los actores que interactúan con la solución, ya que sus necesidades y objetivos condicionan tanto el diseño funcional como los mecanismos de análisis implementados. En este sentido, los sistemas de planificación académica involucran múltiples stakeholders cuyos niveles de participación varían según su rol dentro del proceso formativo.

En primer lugar, los *estudiantes* constituyen el principal grupo de usuarios del sistema, dado que son quienes toman decisiones relacionadas con la selección de asignaturas, la

distribución de la carga académica y la planificación de su trayectoria formativa. Para este grupo, el sistema representa una herramienta de apoyo que facilita la comprensión de la estructura curricular, la evaluación de escenarios alternativos y la toma de decisiones informadas orientadas a optimizar su progreso académico.

Por otra parte, los *coordinadores académicos* desempeñan un rol estratégico en los procesos de asesoría y acompañamiento estudiantil. Para estos actores, el sistema proporciona un mecanismo que permite validar trayectorias, analizar casos particulares y ofrecer recomendaciones fundamentadas en modelos estructurados, fortaleciendo así la calidad del proceso de orientación académica.

Asimismo, los *administradores del sistema* son responsables de la gestión de la información curricular, la configuración de reglas académicas y el mantenimiento de la plataforma. Su participación es esencial para garantizar la integridad de los datos, la actualización de la estructura curricular y el correcto funcionamiento del sistema desde el punto de vista operativo.

En conjunto, la articulación entre una arquitectura estructurada y la identificación clara de los stakeholders permite alinear el diseño del sistema con las necesidades reales del entorno académico, garantizando que la solución propuesta genere valor tanto a nivel individual como institucional.

VI. MARCO CONCEPTUAL

- **Análítica del aprendizaje (Learning Analytics):** Se define como el proceso de medición, recopilación, análisis e interpretación de datos relacionados con los estudiantes y sus contextos educativos, con el propósito de comprender y optimizar los procesos de aprendizaje y los entornos formativos. Este campo interdisciplinario integra técnicas de ciencia de datos, educación e inteligencia artificial para identificar patrones de comportamiento académico, apoyar la toma de decisiones educativas y mejorar la calidad de la enseñanza mediante el uso estratégico de información basada en datos [15].
- **Caminos académicos (Academic Pathways):** Se define como una estructura organizada que guía a los estudiantes a lo largo de su programa de formación mediante rutas curriculares claramente secuenciadas, las cuales indican el orden recomendado de las asignaturas, los requisitos académicos y las opciones disponibles dentro del plan de estudios. Este concepto implica la construcción de trayectorias educativas coherentes que permitan al estudiante comprender cómo cada curso contribuye a su progreso académico y a sus objetivos formativos, reduciendo la incertidumbre en la selección de asignaturas y favoreciendo una planificación más estructurada del recorrido universitario [16].

- **Grafo de conocimiento (Knowledge Graph):** Es una representación estructurada y semántica de entidades y sus relaciones dentro de un dominio específico, organizada mediante nodos y enlaces que describen conexiones significativas entre conceptos. Este tipo de modelo permite integrar información heterogénea, facilitar el razonamiento automatizado y mejorar la interpretación contextual de los datos, siendo ampliamente utilizado en inteligencia artificial y sistemas de información para representar conocimiento complejo de forma estructurada y comprensible [17].
- **Grafo Dirigido (DG):** Es una estructura matemática compuesta por un conjunto de nodos y aristas en las que cada conexión posee una dirección específica, indicando una relación orientada entre los elementos representados. Esta característica permite modelar relaciones asimétricas y dependencias entre entidades, siendo ampliamente utilizado en ciencias computacionales para representar sistemas donde el orden y la dirección de las relaciones son relevantes, como redes, flujos de información y estructuras jerárquicas [18].
- **Grafo Dirigido Acíclico (DAG - Directed Acyclic Graph):** Es un tipo de grafo dirigido que se caracteriza por la ausencia de ciclos, es decir, no existe ningún camino que permita regresar al mismo nodo siguiendo la dirección de las aristas. Esta propiedad lo convierte en una estructura adecuada para representar procesos secuenciales, dependencias jerárquicas y relaciones de precedencia, ya que garantiza un orden lógico entre los elementos y evita inconsistencias en la modelación de relaciones causales o estructurales [19].
- **Optimización multicriterio:** Es un enfoque matemático y computacional orientado a la búsqueda de soluciones óptimas cuando intervienen múltiples objetivos que deben ser considerados simultáneamente. A diferencia de la optimización tradicional de un solo objetivo, este método permite evaluar diferentes alternativas bajo varios criterios de desempeño, equilibrando compromisos entre objetivos potencialmente conflictivos y generando soluciones eficientes dentro de un espacio de restricciones definido [20].
- **Planificación académica:** Es el proceso sistemático mediante el cual se organizan, proyectan y coordinan las actividades formativas de un estudiante a lo largo de su trayectoria educativa, considerando requisitos curriculares, secuencias de cursos, carga académica y metas de formación. Desde una perspectiva institucional, este proceso también implica la definición estratégica de estructuras curriculares y la toma de decisiones orientadas al cumplimiento de los objetivos educativos y al aseguramiento del progreso académico de los estudiantes dentro de los lineamientos del programa académico [21].
- **Sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS - Decision Support System):** Es un sistema informático interactivo que utiliza datos, modelos analíticos y criterios de evaluación para asistir a los usuarios en la resolución de problemas complejos y semiestructurados. Estos sistemas combinan bases de datos, herramientas analíticas y modelos de decisión con el fin de proporcionar información relevante, simulaciones y recomendaciones que faciliten la toma de decisiones informadas en distintos contextos organizacionales y académicos [22].
- **Toma de decisiones bajo múltiples criterios:** Se refiere a un enfoque de decisión en el que se consideran simultáneamente varios objetivos, restricciones y factores de evaluación que pueden ser conflictivos entre sí. Este tipo de proceso implica analizar alternativas desde diferentes perspectivas, ponderar criterios diversos y seleccionar la opción más adecuada en función de un conjunto de preferencias y condiciones establecidas, lo cual resulta especialmente relevante en contextos complejos donde no existe una única solución óptima evidente [23].

VII. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se enmarca en un enfoque de investigación aplicada con diseño tecnológico, orientado al desarrollo de una solución computacional que permita apoyar la planificación y optimización de trayectorias académicas en educación superior. Este enfoque resulta pertinente debido a que se busca resolver un problema real asociado a la toma de decisiones académicas mediante la integración de modelos estructurales, simulación de escenarios y técnicas de optimización multicriterio. En este sentido, la investigación no solo se fundamenta en bases teóricas provenientes de la analítica educativa, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones y el modelado mediante grafos, sino que también contempla la construcción y validación de un prototipo funcional que responda a las necesidades identificadas en el contexto académico del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio adopta un enfoque cualitativo con alcance aplicado y de tipo descriptivo-experimental. El componente cualitativo se justifica en la modelación formal del plan de estudios, la parametrización de variables académicas y la evaluación de resultados mediante métricas objetivas como tiempo estimado de graduación, balance de carga académica y viabilidad curricular.

Asimismo, el carácter experimental se evidencia en la ejecución de simulaciones y comparaciones de distintos escenarios académicos generados por el sistema, permitiendo analizar el comportamiento del modelo bajo diferentes configuraciones de restricciones institucionales y preferencias del estudiante. El proceso metodológico seguido se estructura en fases secuenciales, las cuales se ilustran en la Figura 3.

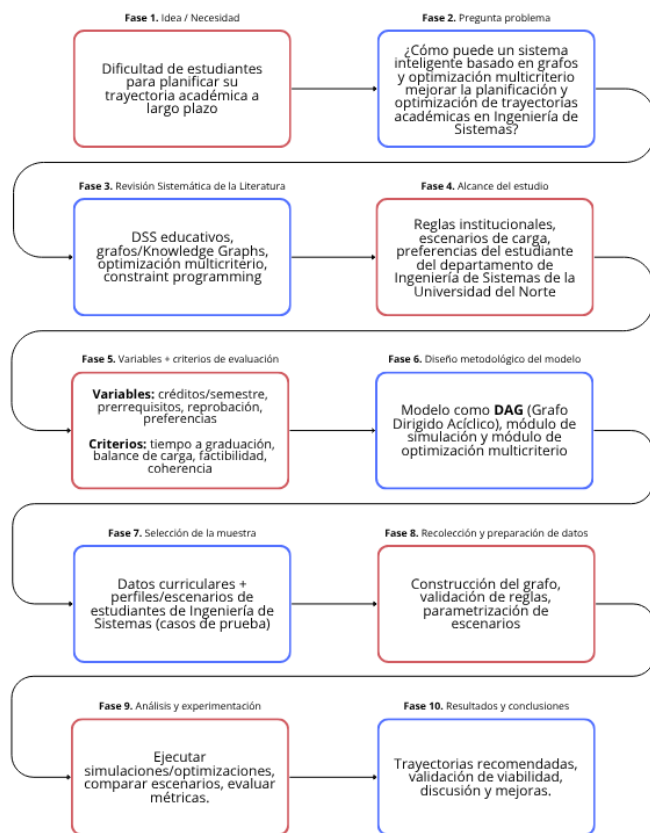


Fig. 3. Diagrama del Proceso cualitativo del Proyecto

Esta metodología planteada inicia con una revisión sistemática de la literatura relacionada con sistemas de apoyo a la toma de decisiones educativas, grafos de conocimiento, optimización multicriterio y planificación académica, con el fin de establecer los fundamentos conceptuales y técnicos del modelo propuesto. Posteriormente, se realiza el análisis estructural del plan de estudios del programa académico de Ingeniería de Sistemas y Computación, identificando prerrequisitos, dependencias curriculares, límites de créditos por semestre y demás restricciones necesarias.

A partir de este análisis, se procede al diseño metodológico del modelo computacional, el cual se basa en la representación del currículo mediante un grafo dirigido acíclico (DAG), complementado con un módulo de simulación de escenarios y un módulo de optimización multicriterio. Esta estructura permite modelar las relaciones de dependencia entre asignaturas, evaluar distintas trayectorias académicas y generar recomendaciones viables bajo restricciones institucionales y variables individuales del estudiante, tales como carga académica, asignaturas reprobadas y preferencias de planificación.

En la fase de selección de la muestra, se emplean datos curriculares oficiales del programa académico junto con perfiles académicos simulados de estudiantes de Ingeniería

de Sistemas, definidos como casos de prueba que representan distintos escenarios de avance académico. Este procedimiento se sustenta en enfoques basados en grafos de conocimiento para sistemas de recomendación personalizados, donde se integran datos estructurados institucionales con perfiles de usuario para modelar relaciones explícitas entre entidades académicas y restricciones curriculares [24].

Seguidamente, en la etapa de recolección y preparación de datos, se realiza la construcción del grafo curricular mediante la identificación de entidades (asignaturas, créditos, prerrequisitos) y la definición formal de sus relaciones, así como la validación de reglas institucionales. La parametrización de los perfiles académicos permite evaluar la coherencia estructural del modelo y la viabilidad de las simulaciones bajo distintos escenarios de planificación.

Posteriormente, se desarrolla la fase de análisis y experimentación, en la cual se ejecutan simulaciones académicas y procesos de optimización para generar trayectorias alternativas, comparar escenarios y evaluar métricas de desempeño del sistema, tales como factibilidad curricular, coherencia estructural, balance de carga académica y tiempo estimado de graduación. Finalmente, los resultados obtenidos permiten validar la viabilidad del prototipo mediante la generación de trayectorias recomendadas, el análisis comparativo de escenarios y la discusión de mejoras del modelo en función de su capacidad para apoyar la toma de decisiones académicas de manera estructurada y prospectiva.

VIII. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Para la construcción del sistema inteligente de apoyo a la toma de decisiones, se adopta un enfoque de desarrollo iterativo e incremental basado en los principios de las metodologías ágiles, como Scrum ⁴. Esta elección metodológica se justifica por la complejidad inherente al modelado de la estructura curricular mediante grafos dirigidos acíclicos (DAG) y la necesidad de calibrar continuamente el motor de optimización multicriterio a medida que se validan las restricciones institucionales del programa académico. El proceso de desarrollo se ha estructurado lógicamente en cuatro fases principales:

A. Fase 1: Análisis de Requisitos y Extracción de Datos

En esta etapa inicial se identifican, extraen y estructuran las reglas académicas del programa de Ingeniería de Sistemas, ilustrado en la Figura 4. Esto incluye la recopilación de la malla curricular vigente, la definición estricta de las redes de prerrequisitos y correquisitos, y la formalización de las restricciones de carga académica por semestre. La información recopilada se transforma en un formato parametrizado que constituye la base de conocimiento fundamental para el sistema inteligente.

⁴Schwaber, K. & Sutherland, J. La Guía de Scrum (2020)

Ingeniería de Sistemas y Computación

SNIES: 103821

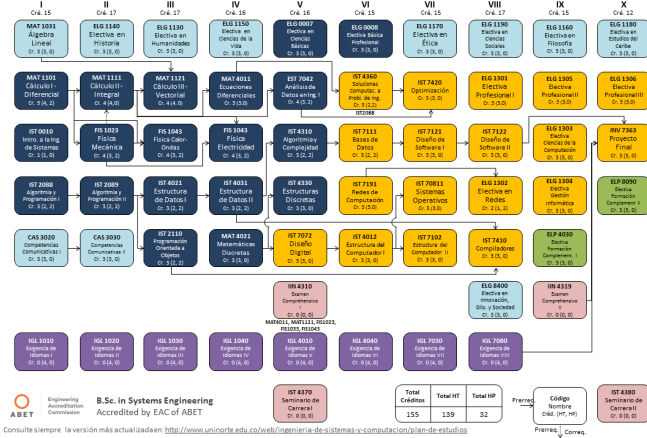


Fig. 4. Malla curricular Ing. Sistemas en la Universidad del Norte

B. Fase 2: Diseño Algorítmico y Arquitectural

A partir de los requisitos consolidados, se procede al diseño formal del modelo computacional. El plan de estudios se modela matemáticamente como un grafo dirigido acíclico, donde los nodos representan las asignaturas y las aristas dirigidas establecen las relaciones de dependencia. Simultáneamente, se diseña la lógica algorítmica del motor de simulación y optimización, definiendo las variables de decisión, las restricciones duras (reglas institucionales inquebrantables) y las funciones objetivo orientadas a equilibrar la carga de créditos y optimizar el tiempo de graduación.

C. Fase 3: Implementación del Prototipo

Esta fase abarca la codificación algorítmica e integración de la solución. Se desarrolla el núcleo de procesamiento (*backend*), encargado de ejecutar los algoritmos de recorrido de grafos y la generación de escenarios proyectivos. De manera complementaria, se construye la interfaz de usuario (*frontend*), enfocada en proporcionar una visualización interactiva y comprensible que permita al estudiante interactuar con la red de prerequisites y explorar de forma intuitiva las recomendaciones de su trayectoria a largo plazo.

D. Fase 4: Pruebas, Validación y Ajuste del Modelo

La fase final se centra en garantizar la viabilidad estructural y la precisión de las proyecciones. Se ejecutan escenarios de prueba simulando diversos estados de avance académico y preferencias de carga. Los resultados arrojados por el sistema se evalúan para verificar que las rutas de matrícula sugeridas respeten los bloqueos por prerequisites, por semestre actual y materias retrasadas, prevengan la formación de cuellos de botella y mantengan coherencia académica. Con base en estos resultados, se refinan iterativamente los pesos y parámetros del algoritmo de optimización multicriterio.

IX. ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN

A. Arquitectura Lógica

La arquitectura lógica del sistema propuesto define la organización estructural de los componentes que intervienen en el procesamiento, análisis y generación de recomendaciones académicas. Esta arquitectura se concibe como un flujo secuencial de información que inicia en la interacción con los usuarios y culmina en la generación de salidas orientadas al apoyo en la toma de decisiones académicas, además se representa como una solución de tipo monolítico por capas, en la cual cada nivel cumple una responsabilidad específica dentro del funcionamiento general de la aplicación.

La Figura 5 presenta una visión general de los módulos que componen el sistema.

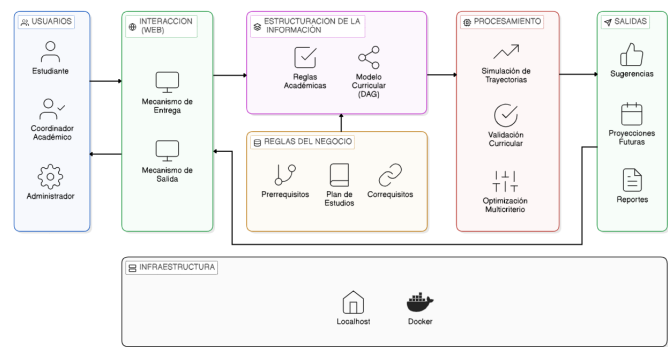


Fig. 5. Arquitectura lógica del sistema

El sistema se compone de la siguiente forma:

1) **Capa de Usuarios:** En la capa más externa se encuentran los usuarios del sistema, quienes interactúan con la solución a través de la capa de interacción. Para este proyecto, los usuarios principales corresponden al estudiante, el coordinador académico y el administrador de la solución. Cada uno de estos perfiles posee diferentes niveles de acceso y funcionalidades. El estudiante consulta su avance curricular, explora proyecciones académicas y recibe sugerencias de trayectoria. El coordinador académico visualiza reportes globales y escenarios de seguimiento. El administrador gestiona parámetros, reglas académicas y mantenimiento funcional de la plataforma. Esta interacción se realiza a través de una aplicación web, que constituye el canal principal de comunicación con el sistema.

2) **Interacción (Web):** La capa de interacción corresponde a la interfaz mediante la cual los usuarios interactúan con el sistema, implementada como una aplicación web. Este componente permite la captura de datos de entrada, la configuración de escenarios académicos y la visualización de resultados generados por el sistema. Asimismo, actúa como mecanismo de entrega y de salida, facilitando la comunicación entre los usuarios y los módulos internos de procesamiento.

3) **Capa de Estructuración de la Información:** Después se encuentra la capa de estructuración e integración de la información, cuya función es transformar los datos académicos en una representación formal utilizable por la solución. En esta capa, el plan curricular se organiza como un grafo dirigido acíclico (DAG), donde los nodos representan asignaturas y las aristas representan dependencias curriculares. Asimismo, se consolidan las reglas institucionales que influirán en la manera en que trata la información obtenida. Esta capa actúa como el núcleo lógico de organización del conocimiento, permitiendo que la información académica deje de ser solo descriptiva y pase a ser computable, trazable y evaluable dentro del sistema.

4) **Reglas del Negocio:** En este módulo se integran los elementos curriculares y normativos necesarios para el funcionamiento del sistema. Estos incluyen el plan de estudios, los prerrequisitos y los correquisitos de las asignaturas. Estos componentes permiten establecer las restricciones académicas que deben cumplirse en los procesos de simulación, validación y recomendación, enriqueciendo la representación del contexto curricular y garantizando coherencia en las trayectorias propuestas.

5) **Capa de Procesamiento:** Posteriormente se encuentra la capa de procesamiento inteligente de la información, donde se ejecutan los principales mecanismos analíticos del sistema. Aquí se ubican el motor de validación curricular, el módulo de simulación académica y el motor de optimización multicriterio. El motor de validación verifica el cumplimiento de prerrequisitos y restricciones institucionales. El módulo de simulación genera escenarios alternativos de avance académico según diferentes configuraciones de carga y decisiones del estudiante. Finalmente, el motor de optimización evalúa rutas posibles y prioriza aquellas que equilibran criterios como tiempo estimado de graduación, balance de carga y coherencia estructural.

6) **Capa de Salidas:** Seguidamente se ubica la capa de salida y presentación de resultados, responsable de convertir el procesamiento interno en información útil para la toma de decisiones. Entre sus principales salidas se encuentran la respuesta personalizada al estudiante, la proyección futura de trayectoria, la propuesta de semestres recomendados, las alertas de cuellos de botella y los indicadores de cumplimiento curricular. Esta capa entrega resultados comprensibles y accionables, permitiendo que el sistema no solo consulte información, sino que realmente funcione como un sistema de apoyo a la decisión.

7) **Capa de Infraestructura:** Finalmente, el módulo de infraestructura define el entorno tecnológico sobre el cual se despliega el sistema. En este caso, se contempla el uso de entornos locales y tecnologías de contenedorización como Docker, lo cual facilita la portabilidad, escalabilidad y reproducibilidad del sistema.

En conjunto, esta arquitectura lógica permite integrar de manera coherente los diferentes componentes del sistema, garantizando un flujo estructurado de información desde la entrada de datos hasta la generación de recomendaciones académicas, alineándose con el objetivo de apoyar la planificación y optimización de trayectorias académicas en educación superior.

B. Arquitectura Lógica de Futura Evolución

Teniendo en cuenta la arquitectura lógica actual del sistema, la cual integra componentes de interacción web, estructuración de información, reglas del negocio, procesamiento y salidas, se plantea una posible evolución orientada a ampliar las capacidades inteligentes y predictivas de la solución en próximas versiones, descrita en la Figura 6. Esta arquitectura futura conservaría la base actual del sistema, pero incorporaría nuevos módulos destinados a mejorar la personalización de las recomendaciones, la explicación de los resultados y el análisis del riesgo académico a partir de información contextual del estudiante.

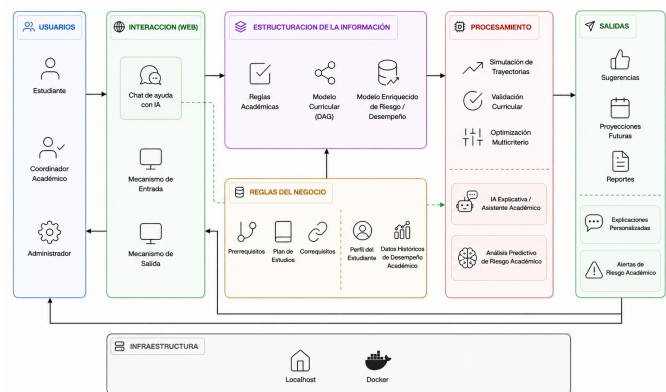


Fig. 6. Arquitectura lógica de la evaluación futura del sistema

Como línea de evolución futura, la arquitectura lógica contempla la incorporación de un módulo de asistencia inteligente basado en IA, ubicado entre la capa de interacción web y la capa de procesamiento. Este componente permitiría ofrecer explicaciones personalizadas sobre las rutas generadas, responder preguntas del estudiante y facilitar la interpretación de las recomendaciones académicas. Su propósito no sería reemplazar la orientación académica institucional, sino complementar la experiencia del usuario mediante una interacción conversacional que ayude a comprender el impacto de las decisiones de matrícula.

Adicionalmente, se propone enriquecer el modelo actual mediante la incorporación de variables asociadas al perfil académico del estudiante y a datos históricos de desempeño en asignaturas. Esta información podría integrarse como parte de las reglas del negocio y alimentar los módulos de simulación y optimización multicriterio. De esta manera, futuras versiones

del sistema podrían considerar factores como tasas históricas de aprobación, dificultad relativa de las materias, desempeño promedio y riesgo académico estimado, permitiendo generar trayectorias más personalizadas y sensibles al contexto real de los estudiantes.

C. Arquitectura Física

La arquitectura física del sistema propuesto se define bajo un modelo cliente-servidor con una estructura modular que integra componentes de visualización, procesamiento y almacenamiento, permitiendo soportar de manera eficiente la simulación y optimización de trayectorias académicas. Esta arquitectura adopta un enfoque híbrido orientado a grafos, en el cual la representación de la información curricular y sus dependencias se gestiona mediante una base de datos especializada en grafos, facilitando el modelado de relaciones complejas entre asignaturas.

Como se muestra en la Figura 7, el sistema sigue una arquitectura monolítica desplegada en contenedores Docker, organizada en múltiples capas que interactúan mediante protocolos estándar.

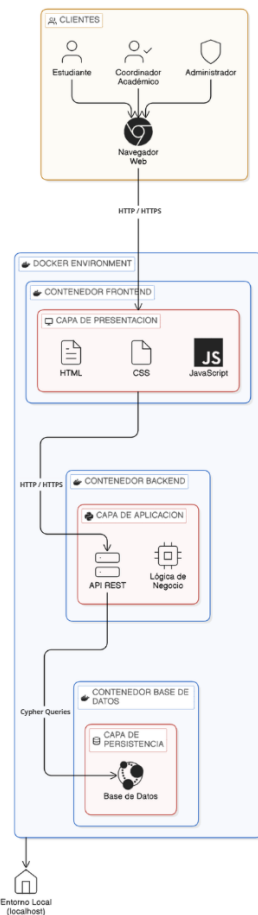


Fig. 7. Arquitectura física del sistema

1) **Capa de Clientes:** En la capa superior se encuentran los actores del sistema: Estudiante, Coordinador Académico y Administrador. Estos usuarios acceden a la aplicación a través de un navegador web, el cual actúa como cliente ligero. La comunicación con el sistema se realiza mediante el protocolo HTTP/HTTPS, garantizando interoperabilidad y acceso multiplataforma.

2) **Capa de Presentación (Frontend):** La capa de presentación está desarrollada utilizando *React*, lo que permite la construcción de interfaces dinámicas, reactivas y orientadas a componentes. Esta capa se ejecuta dentro de un contenedor Docker independiente y se encarga de gestionar la interacción con el usuario, la visualización de la información y el envío de solicitudes al backend mediante consumo de servicios REST.

3) **Capa de Aplicación (Backend):** El backend del sistema está desarrollado en Python y se ejecuta en un contenedor Docker separado. Esta capa implementa la lógica de negocio, incluyendo la validación de restricciones curriculares, la simulación de trayectorias académicas y la ejecución de procesos de optimización. Asimismo, expone una API REST que permite la comunicación con el frontend mediante el protocolo HTTP/HTTPS.

4) **Capa de Persistencia:** La persistencia de la información se gestiona mediante una base de datos orientada a grafos (*Neo4j*), la cual se ejecuta en un contenedor Docker independiente. En esta capa, la estructura curricular se representa como un grafo dirigido acíclico, donde los nodos corresponden a asignaturas y las aristas representan relaciones de prerrequisito. La interacción con la base de datos se realiza mediante el lenguaje de consultas *Cypher*⁵, permitiendo ejecutar operaciones complejas sobre relaciones y dependencias académicas de manera eficiente.

5) **Infraestructura y Despliegue:** Toda la solución se encuentra desplegada en un entorno local (*localhost*) utilizando Docker como plataforma de contenedorización. Se emplean múltiples contenedores para aislar los componentes principales del sistema: frontend, backend y base de datos de grafos. Este enfoque permite garantizar portabilidad, escalabilidad y facilidad de despliegue, así como la independencia entre los servicios.

6) **Flujo de Comunicación:** El flujo principal del sistema sigue la siguiente secuencia:

- i) Los usuarios interactúan con el sistema a través del navegador web.
- ii) El frontend (React) envía solicitudes HTTP/HTTPS al backend.

⁵Cypher es un lenguaje declarativo, inspirado en SQL, que permite manipular datos en Neo4j.

- iii) El backend procesa las solicitudes mediante la lógica de negocio.
- iv) En caso necesario, el backend realiza consultas a la base de datos de grafos mediante Cypher.
- v) Los resultados son retornados al frontend y presentados al usuario.

El uso de esta arquitectura orientada a grafos permite representar de manera natural las dependencias curriculares y facilita la ejecución de consultas estructurales.

X. PROTOTIPO

El prototipo corresponde a una aplicación web ⁶ orientada para apoyar la planificación académica de estudiantes de Ingeniería de Sistemas mediante la visualización interactiva de la malla curricular y la generación de rutas académicas optimizadas.

La interfaz permite al usuario ingresar información relacionada con su avance académico, seleccionar materias aprobadas y definir asignaturas prioritarias, para posteriormente generar una proyección curricular hasta la finalización del programa.

La aplicación se estructura en tres vistas principales: la página inicial del planificador, la malla interactiva y la ruta de graduación. Esta organización responde a la arquitectura planteada para el sistema, en la cual la capa de interacción web permite capturar datos de entrada, configurar escenarios académicos y visualizar los resultados generados por el sistema. A continuación se describe cada una de ellas con mayor detalle.

- 1) **Página inicial del planificador:** La página inicial del sistema constituye el punto de entrada principal para la interacción del estudiante con el planificador académico. Como se observa en la Figura 8, esta interfaz centraliza las opciones necesarias para configurar el estado académico actual del usuario y definir los parámetros que serán utilizados en la generación de la ruta académica personalizada.

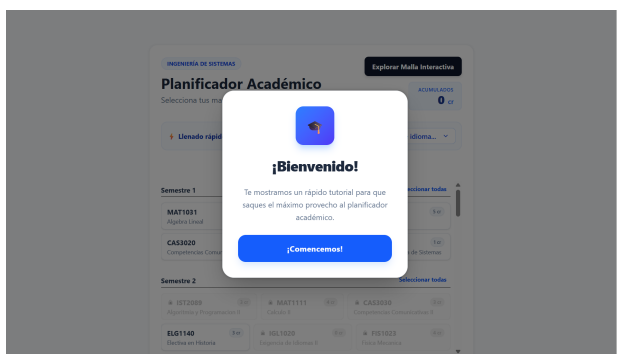


Fig. 8. Página inicial del planificador académico

En esta vista, el estudiante puede configurar su estado académico actual mediante la selección de las asignaturas ya aprobadas. Esta selección puede realizarse de forma manual, escogiendo una a una las materias cursadas, o mediante una opción de llenado rápido que permite marcar automáticamente todas las asignaturas hasta un semestre determinado. Asimismo, el sistema permite limpiar las selecciones de un semestre o desmarcar materias de forma individual.

Como se muestra en la Figura 9, el sistema resalta visualmente las asignaturas seleccionadas y permite al usuario gestionar de manera dinámica su historial académico dentro de la malla curricular.

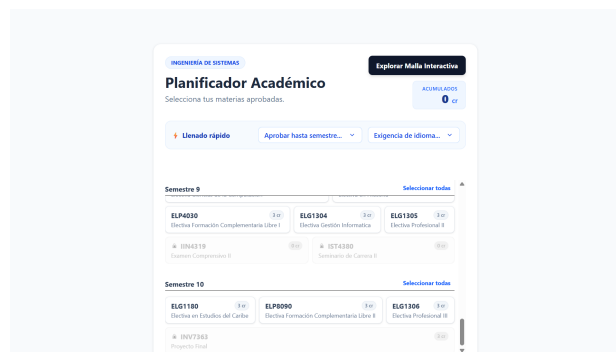


Fig. 9. Selección y validación de asignaturas aprobadas

Cuando el usuario deselecta una asignatura que funciona como prerrequisito de otras, el sistema actualiza automáticamente la selección, desmarcando también aquellas materias que dependen de ella. De esta manera, se mantiene la coherencia estructural de la malla curricular y se evita representar como aprobadas materias que no podrían haber sido cursadas sin cumplir sus requisitos previos.

A medida que se seleccionan asignaturas, el sistema calcula y muestra el total de créditos acumulados, permitiendo al estudiante visualizar su avance dentro del plan de estudios.

Además de la selección de materias aprobadas, la página inicial permite configurar variables asociadas a la generación de la ruta académica. Entre estas se encuentra el límite de créditos por semestre y la posibilidad de habilitar avance flexible.

El límite de créditos toma como referencia la regla institucional de matrícula completa, en la cual se contempla un máximo de 17 créditos por semestre; si el usuario define un valor superior, el sistema interpreta que autoriza escenarios donde podrían requerirse extracréditos, como se muestra en la Figura 10.

⁶ Plataforma Acacia: <https://acacia.openlab.uninorte.edu.co/>

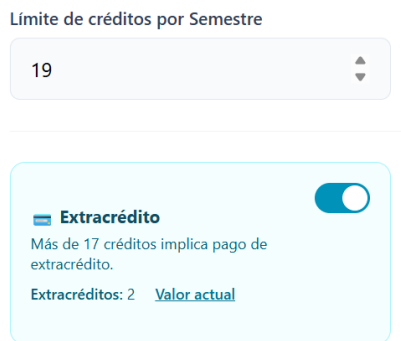


Fig. 10. Configuración del créditos por semestre

La Figura 11 presenta las opciones de configuración avanzada disponibles para personalizar la generación de la ruta académica, incluyendo la definición de materias prioritarias y la activación del avance flexible.

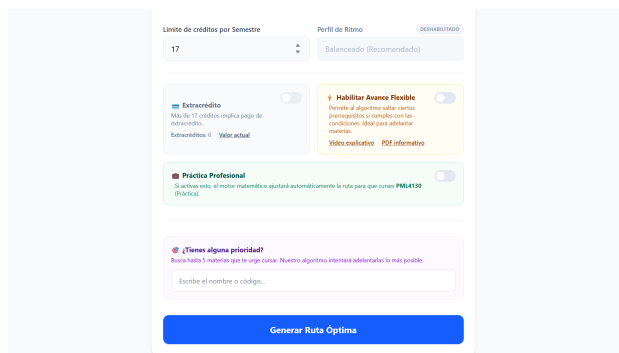


Fig. 11. Configuración de prioridades y avance flexible

La opción de avance flexible permite que el algoritmo considere ciertos casos en los que una asignatura pueda adelantarse bajo condiciones específicas, lo cual resulta útil para simular escenarios donde el estudiante desea avanzar de manera más intensiva. Finalmente, el usuario puede seleccionar hasta cinco materias prioritarias, las cuales representan asignaturas que desea cursar lo antes posible. Con esta información, el sistema intenta ubicarlas en los primeros semestres viables dentro de la ruta generada.

- 2) **Malla interactiva:** Desde la página inicial, el usuario puede acceder a la opción “Explorar malla interactiva”. Como se observa en la Figura 12, esta vista presenta la malla curricular en un entorno tipo canvas, donde las asignaturas se representan como nodos conectados mediante líneas que indican las relaciones de prerequisite entre materias. La organización visual de izquierda a derecha permite comprender de manera intuitiva la progresión académica dentro del plan de estudios y la forma en que una asignatura habilita el acceso a otras posteriores.

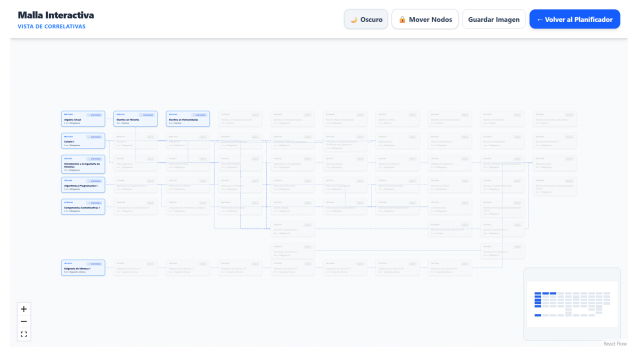


Fig. 12. Vista de la malla curricular interactiva

La malla responde dinámicamente a los datos ingresados por el usuario en la página inicial. Las asignaturas aprobadas se muestran en color verde, mientras que las asignaturas disponibles para cursar se representan en color azul, siempre que sus prerequisites hayan sido cumplidos. Por su parte, las asignaturas inactivas corresponden a aquellas que aún no pueden ser cursadas debido a que el estudiante no cumple con las condiciones necesarias.

Como se aprecia en la Figura 12, la interfaz permite interactuar directamente con las asignaturas, seleccionándolas o deseleccionándolas para observar cómo cambia el estado general de la malla. De esta manera, el estudiante puede analizar visualmente el impacto que tendría aprobar o retirar determinadas materias dentro de su trayectoria académica.

Adicionalmente, en la parte inferior derecha se incorpora un minimapa que facilita la navegación dentro del canvas principal, permitiendo identificar rápidamente la sección de la malla que se está visualizando. Asimismo, la interfaz incluye herramientas de zoom y desplazamiento para mejorar la exploración de la estructura curricular.

La página de malla interactiva también incorpora una opción para guardar la visualización actual de la malla en formato PNG. Esta funcionalidad permite exportar el escenario generado y conservar evidencia gráfica del análisis realizado. Finalmente, se incluye un botón para regresar al planificador y continuar con la configuración de los datos de entrada.

- 3) **Generación de ruta óptima:** Una vez configuradas las materias aprobadas, el perfil de ritmo, el límite de créditos, la opción de avance flexible y las asignaturas prioritarias, el usuario puede ejecutar la opción “Generar ruta óptima”. Como se observa en la Figura 13, esta acción se encuentra disponible en la interfaz principal del planificador y constituye el punto de inicio para el procesamiento de la proyección académica.

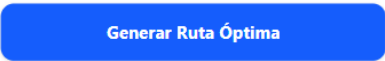


Fig. 13. Botón para generar la ruta académica óptima

Esta funcionalidad analiza los datos ingresados por el usuario y aplica las reglas de negocio definidas para construir una propuesta de trayectoria académica hasta la culminación del programa.

El sistema considera múltiples restricciones curriculares, incluyendo prerrequisitos, correquisitos, carga máxima de créditos por semestre y preferencias configuradas por el estudiante. Asimismo, toma en cuenta las asignaturas priorizadas y las condiciones de avance flexible definidas previamente.

Como resultado, se genera una secuencia de semestres futuros que busca mantener la viabilidad académica de la ruta, optimizar el avance dentro del plan de estudios y reducir posibles bloqueos curriculares. De esta manera, el estudiante obtiene una proyección organizada y coherente de las materias que debería cursar en cada periodo académico para alcanzar su graduación de forma eficiente.

- 4) **Ruta de graduación:** Después de generar la ruta óptima, el sistema dirige al usuario a la página de “Ruta de Graduación”. Como se muestra en la Figura 14, esta vista presenta la proyección optimizada del currículo, indicando el número estimado de bloques académicos requeridos para culminar el plan de estudios.

La información se organiza por semestre proyectado, mostrando el periodo académico estimado en el que se cursaría cada conjunto de asignaturas. Para ello, se emplea la convención institucional de periodos académicos, donde “-10” corresponde al primer semestre del año y “-30” al segundo semestre. Cada semestre proyectado presenta el número total de créditos y las asignaturas recomendadas para cursar en dicho periodo.

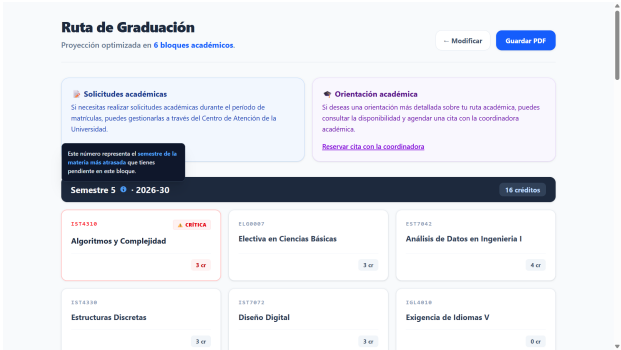


Fig. 14. Vista inicial de la ruta de graduación generada

Además, algunas materias incluyen etiquetas informativas que facilitan la interpretación de la proyección generada. Como se muestra en la Figura 15, estas etiquetas permiten identificar rápidamente el tipo y la importancia de cada asignatura dentro de la ruta académica.



Fig. 15. Etiquetas informativas en la ruta de graduación

La etiqueta “Adelanto” identifica asignaturas que requieren avance flexible; la etiqueta “Prioritaria” señala las materias seleccionadas previamente por el usuario como preferentes; y la etiqueta “Crítica” destaca las asignaturas fundamentales para habilitar otras materias posteriores dentro de la malla curricular.

Como se aprecia en la Figura 14, la parte superior de la interfaz incorpora accesos rápidos para modificar la configuración inicial o exportar los resultados obtenidos. La opción “Modificar” permite regresar al planificador y ajustar los datos de entrada, mientras que la opción “Guardar PDF” facilita conservar la proyección académica generada en un documento descargable.

A medida que el usuario se desplaza por la página, puede visualizar la totalidad de semestres proyectados hasta completar el plan de estudios. La Figura 16 muestra la sección final de la ruta generada, donde se presentan los últimos bloques académicos requeridos para finalizar la carrera y un mensaje de confirmación que indica la culminación satisfactoria de la malla curricular proyectada.

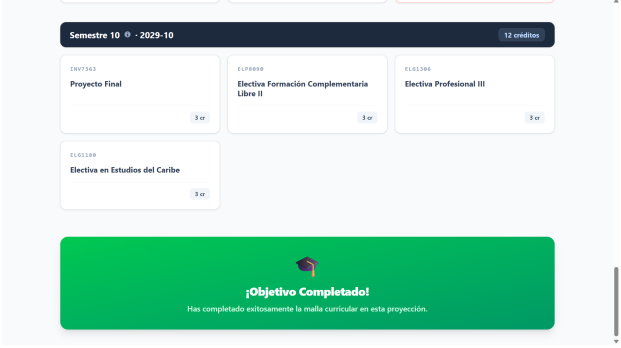


Fig. 16. Finalización de la ruta de graduación proyectada

Esta representación permite al estudiante visualizar de manera clara y estructurada el recorrido académico

restante, identificar las materias críticas dentro de la proyección y comprender cómo las decisiones tomadas en la configuración inicial afectan el tiempo estimado de graduación.

XI. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

La validación del prototipo se realizó mediante pruebas de usabilidad y evaluación de calidad funcional, con el propósito de valorar la facilidad de uso, la claridad de la información, la comprensión de las recomendaciones y la utilidad del sistema como herramienta de apoyo para la planificación académica.

Para este proceso se utilizaron dos rúbricas de evaluación. La primera rúbrica estuvo orientada a la coevaluación 1:1 con otro grupo de la asignatura Proyecto Final. Esta evaluación se basó en criterios de los estándares ISO 9126 e ISO 15504, y permitió valorar características técnicas del prototipo como *understandability*, *learnability*, *accessibility*, *testability*, *analysability* e *interoperability*, utilizando una escala Likert de 1 a 5. Tal como se muestra en la Figura 17, esta rúbrica permitió evaluar aspectos técnico y de calidad del software.

| Característica | Definición o descripción | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| Understandability | ¿Fácil de comprender? | | | | | |
| Documentation | ¿Documentación de usuario completa, apropiada y bien estructurada? | | | | | |
| Learnability | ¿Fácil de aprender a usar sus funciones? | | | | | |
| Governance | ¿Fácil de entender cómo se ejecuta el proyecto y cómo se gestiona el desarrollo del software? | | | | | |
| Community | ¿Evidencia de comunidad actual / futura? | | | | | |
| Accessibility | ¿Evidencia de capacidad de descarga actual / futura? | | | | | |
| Testability | ¿Fácil de probar la corrección de las funciones caja negra? | | | | | |
| Supportability | ¿Evidencia de soporte para desarrolladores actuales / futuros? | | | | | |
| Analysability | ¿Fácil de entender a nivel fuente? | | | | | |
| Changeability | ¿Fácil de modificar y aportar cambios a los desarrolladores? | | | | | |
| Evolvability | ¿Evidencia de desarrollo actual / futuro? | | | | | |
| Interoperability | ¿Interoperable con otro software requerido / relacionado? | | | | | |

Fig. 17. Rúbrica de coevaluación basada en ISO 9126 e ISO 15504

La segunda rúbrica fue aplicada a los usuarios finales esperados del sistema (estudiantes de Ingeniería de Sistemas de diferentes semestres y la coordinadora del programa). Esta evaluación se centró en la experiencia de uso, la comprensión de la malla interactiva, la claridad de las rutas generadas, la coherencia académica y la utilidad general del prototipo.

Como se observa en la Figura 18, esta rúbrica se enfocó en aspectos de usabilidad y experiencia del usuario. Durante las pruebas, los participantes realizaron tareas específicas tales como seleccionar materias aprobadas, utilizar el llenado rápido por semestre, explorar la malla interactiva, configurar límites de créditos, seleccionar materias prioritarias y generar rutas óptimas de graduación. En el caso de la coordinadora del programa, se evaluó adicionalmente la pertinencia académica de las trayectorias propuestas y el cumplimiento de las restricciones curriculares.

| Característica | Definición o descripción | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------------|--|---|---|---|---|---|
| Understandability | El usuario comprende fácilmente el propósito y funcionamiento general del sistema. | | | | | |
| Learnability | El usuario aprende rápidamente a utilizar las funciones principales del prototipo. | | | | | |
| Accessibility | La interfaz es clara, legible y fácil de navegar. | | | | | |
| Navigation | El flujo entre páginas y funcionalidades es intuitivo y consistente. | | | | | |
| Interactive Curriculum Visualization | La malla interactiva permite comprender claramente las relaciones entre materias y prerrequisitos. | | | | | |
| Scenario Simulation | El sistema permite comprender y evaluar distintos escenarios académicos de forma clara. | | | | | |
| Route Generation Clarity | La ruta académica generada es comprensible y está bien organizada visualmente. | | | | | |
| Recommendation Utility | Las recomendaciones generadas resultan útiles para apoyar la toma de decisiones académicas. | | | | | |
| Academic Coherence | Las trayectorias propuestas respetan la lógica curricular y los prerrequisitos del programa. | | | | | |
| Information Visualization | Los colores, etiquetas y elementos visuales facilitan la interpretación de la información. | | | | | |
| System Responsiveness | El sistema responde adecuadamente a las interacciones y cambios realizados por el usuario. | | | | | |
| Export Functionality | Las opciones de exportar imagen y PDF funcionan correctamente y son útiles. | | | | | |
| Overall Satisfaction | El usuario se siente satisfecho con la experiencia general del prototipo. | | | | | |

Fig. 18. Rúbrica de evaluación con usuarios finales

Ambas rúbricas utilizaron una escala Likert de 1 a 5, cuya interpretación se detalla en la Tabla I:

TABLE I
ESCALA LIKERT BASADA EN ISO 15504

| Nivel de cumplimiento | Valor | Interpretación |
|-----------------------|-------|----------------|
| No está presente | 1 | Muy bajo |
| Presente | 2 | Bajo |
| Aceptable | 3 | Medio |
| Destacado | 4 | Alto |
| Óptimo | 5 | Muy alto |

XII. RESULTADOS

La validación del prototipo arrojó resultados positivos tanto en aspectos técnicos como en percepción de los usuarios. En la primera rúbrica (coevaluación entre pares), el prototipo obtuvo valoraciones altas en características como *understandability*, *learnability*, *accessibility* e *interoperability*, además de buenos resultados en *governance*, *changeability* y *evolvability*.

Como se muestra en la Figura 19, estos resultados reflejan una buena calidad estructural y mantenibilidad del sistema.

| Característica | Definición o descripción | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| Understandability | ¿Fácil de comprender? | | | | X | |
| Documentation | ¿Documentación de usuario completa, apropiada y bien estructurada? | | | | | X |
| Learnability | ¿Fácil de aprender a usar sus funciones? | | | | X | |
| Governance | ¿Fácil de entender cómo se ejecuta el proyecto y cómo se gestiona el desarrollo del software? | | | | | X |
| Community | ¿Evidencia de comunidad actual / futura? | | | | X | |
| Accessibility | ¿Evidencia de capacidad de descarga actual / futura? | | | | | X |
| Testability | ¿Fácil de probar la corrección de las funciones caja negra? | | | | X | |
| Supportability | ¿Evidencia de soporte para desarrolladores actuales / futuros? | | | | X | |
| Analysability | ¿Fácil de entender a nivel fuente? | | | | X | |
| Changeability | ¿Fácil de modificar y aportar cambios a los desarrolladores? | | | | | X |
| Evolvability | ¿Evidencia de desarrollo actual / futuro? | | | | | X |
| Interoperability | ¿Interoperable con otro software requerido / relacionado? | | | | | X |

Fig. 19. Resultados de la coevaluación basada en ISO 9126 e ISO 15504

En la evaluación con usuarios finales, participaron 9 estudiantes de diferentes semestres de Ingeniería de Sistemas y la coordinadora del programa. Como se observa en la Figura 20, los resultados muestran una percepción altamente positiva del prototipo.

Evaluación de usabilidad del prototipo

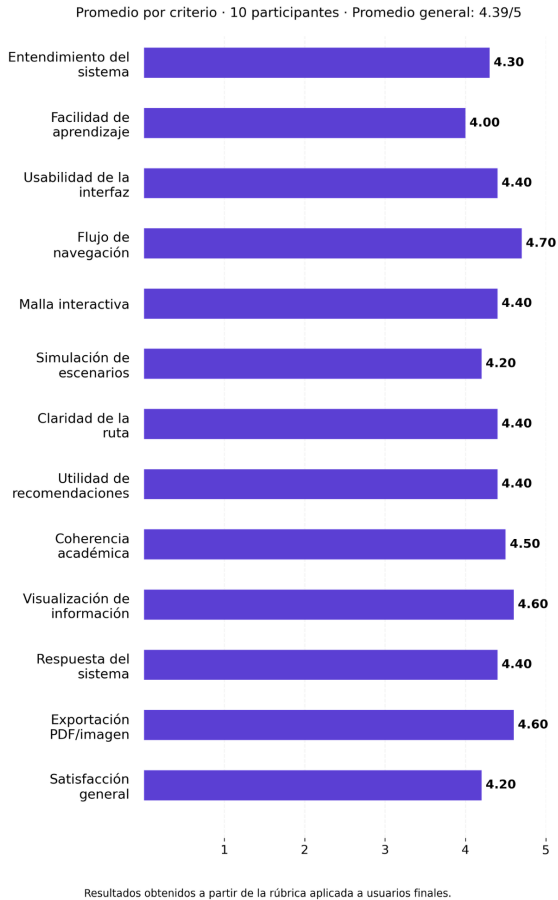


Fig. 20. Resultados de la evaluación con usuarios finales

El promedio global alcanzado fue de 4.39 sobre 5. Los criterios mejor valorados fueron Flujo de navegación (4.70), Visualización de información (4.60) y Exportación PDF/imagen (4.60). Aspectos como Usabilidad de la interfaz, Malla interactiva, Claridad de la ruta y Coherencia académica (4.50) también obtuvieron valoraciones superiores a 4.40.

Si bien los resultados fueron mayoritariamente positivos, se identificaron oportunidades de mejora en Facilidad de aprendizaje (4.00) y Simulación de escenarios (4.20), relacionadas principalmente con la necesidad de mayor soporte visual y explicaciones en funcionalidades avanzadas.

En términos generales, los resultados validan la pertinencia del prototipo como herramienta efectiva de apoyo a la planificación académica en el programa de Ingeniería de Sistemas.

XIII. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente proyecto permitió consolidar una solución tecnológica orientada al apoyo de la planificación académica en estudiantes de Ingeniería de Sistemas, abordando una problemática asociada a la dificultad para comprender, proyectar y optimizar trayectorias curriculares en contextos donde existen múltiples dependencias entre asignaturas y restricciones institucionales. La revisión de literatura permitió reconocer la pertinencia de enfoques como los sistemas de apoyo a la toma de decisiones y el modelado curricular mediante grafos.

A partir del análisis de la estructura curricular del programa, fue posible identificar y organizar los elementos necesarios para representar formalmente la malla académica, incluyendo prerrequisitos, dependencias entre asignaturas, límites de créditos y reglas relevantes para la generación de trayectorias viables. Esta representación permitió estructurar el plan de estudios como un grafo dirigido acíclico (DAG), facilitando la visualización de relaciones curriculares y la validación de rutas académicas coherentes con las condiciones del programa.

El diseño e implementación del prototipo permitió integrar una arquitectura funcional compuesta por una interfaz web, una base de datos orientada a grafos y módulos de procesamiento encargados de validar restricciones, simular escenarios y generar rutas académicas optimizadas. Mediante estas funcionalidades, el sistema permitió al usuario seleccionar materias aprobadas, configurar límites de créditos, activar avance flexible, definir asignaturas prioritarias y obtener una proyección organizada de los semestres restantes hasta la culminación de la carrera.

La incorporación de la malla interactiva constituyó uno de los aportes principales del prototipo, al permitir que los estudiantes exploraran visualmente el comportamiento del plan de estudios ante diferentes selecciones de asignaturas. Esta funcionalidad facilitó la comprensión de los prerrequisitos, la identificación de materias disponibles y la visualización de posibles bloqueos curriculares, fortaleciendo el carácter explicativo y práctico de la herramienta.

Los resultados de la validación evidenciaron una percepción positiva del sistema por parte de los participantes, especialmente en aspectos relacionados con la navegación, la visualización de información, la coherencia académica y la utilidad de las recomendaciones generadas. La evaluación permitió comprobar que las trayectorias propuestas respetan las restricciones curriculares y que la información presentada resulta clara para apoyar procesos de planificación y orientación académica. Asimismo, se identificaron oportunidades de mejora en la facilidad de aprendizaje inicial y en la explicación de algunos escenarios avanzados, lo cual representa una base importante para futuras iteraciones del sistema.

En conjunto, el proyecto demuestra que la combinación de grafos dirigidos acíclicos, simulación de escenarios y optimización multicriterio puede aportar valor significativo a la planificación académica universitaria. Como trabajo futuro, se plantea ampliar el sistema mediante la incorporación de datos históricos reales, mecanismos de recomendación más personalizados, analítica académica y adaptación a otros programas de la institución, con el fin de fortalecer su capacidad predictiva, escalabilidad y utilidad en procesos de acompañamiento académico.

REFERENCIAS

- [1] D. A. González-Jiménez and J. Salazar-Tabima, "La analítica académica y la toma de decisiones en educación superior. Un estudio bibliométrico," SHILAP Revista De Lepidopterología, Dec. 2021. Available: <https://doaj.org/article/38c7cbe5e2464357bf964bf602bb5f0a>
- [2] S. S. P. Pinos, J. V. I. Rosario, and R. F. F. Casquete, "Diseño e Implementación de Sistemas Inteligentes de Aprendizaje Personalizado Basados en IA para la Mejora del Rendimiento Académico en Estudiantes de Educación," Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano, vol. 6, no. 2, pp. 237–255, May 2025, doi: 10.61368/r.s.d.h.v6i2.597.
- [3] A. Li, Y. Li, and X. Gao, "Personalized Learning Path Recommendation Based on Knowledge Graphs: a survey," Electronics, vol. 15, no. 1, p. 238, Jan. 2026, doi: 10.3390/electronics15010238.
- [4] A. Alowail, K. H. A. Al-Shqeerat, and M. Hadwan, "A multi-criteria assessment of decision support systems in educational environments," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 22, no. 2, p. 985, May 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v22.i2.pp985-996.
- [5] S. Samaranyake, A. D. A. Gunawardena, and R. R. Meyer, "An interactive decision support system for college degree planning," Athens Journal of Education, vol. 10, no. 1, pp. 101–116, Jan. 2023, doi: 10.30958/aje.10-1-6.
- [6] S. Atalla et al., "An intelligent recommendation system for automating academic advising based on curriculum analysis and performance modeling," Mathematics, vol. 11, no. 5, p. 1098, Feb. 2023, doi: 10.3390/math11051098.
- [7] T. -H. -H. Nguyen and H. -N. Nguyen, "A Knowledge Graph-Based Framework for Personalized Course Recommendations in Higher Education," 2025 8th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD), Chengdu, China, 2025, pp. 853–858, doi: 10.1109/ICAIBD64986.2025.11082069.
- [8] M. L. Skaggs, "Constraint Programming for Optimized Degree Paths" (2025). Masters Theses. 8259. Available: https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/8259
- [9] V. Minaya and N. Acevedo, Whole-College Reforms in Community Colleges: Guided Pathways Practices and Early Academic Success in Three States, CCRC Working Paper No. 136, Community College Research Center, Teachers College, Columbia University, New York, NY, USA, Mar. 2024. Available: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED646255.pdf>.
- [10] M. Tao, J. Jiang, X. Wang, J. Zhou, and J. Xie, "A Decision Support Framework for Curriculum Planning in Undergraduate Supply Chain Management Program: An Integrated Approach," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2022, pp. 1–17, Jul. 2022, doi: 10.1155/2022/3494431.
- [11] S. Yeralan and Ö. Büyükdagli, "A decision support system for curricula design," Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN), vol. 9, no. 4, pp. 632–642, Oct. 2021, doi: 10.21533/pen.v9.i4.972.
- [12] B. Abu-Salih and S. Alotaibi, "A systematic literature review of knowledge graph construction and application in education," Heliyon, vol. 10, no. 3, p. e25383, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25383.
- [13] Y. Du, "Application of the Data-Driven Educational Decision-Making System to curriculum optimization of higher Education," Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2022, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/5823515.
- [14] D. Baig, D. Nurbakova, B. Mbaye, and S. Calabretto, "Knowledge Graph-Based Recommendation System for Personalized E-Learning," ACM, pp. 561–566, Jun. 2024, doi: 10.1145/3631700.3665229.
- [15] Society for Learning Analytics Research (SoLAR), "Reimagining Learning Analytics," May 2025. Available: <https://www.solaresearch.org/publications/position-papers/>
- [16] St. Petersburg College, "What are Academic Pathways and how do I use them?," Student Support, Feb. 19, 2026. Available: <https://studentsupport.spcollege.edu/hc/en-us/articles/15871165800475-What-are-Academic-Pathways-and-how-do-I-use-them>
- [17] L. Zhong, J. Wu, Q. Li, H. Peng, and X. Wu, "A comprehensive survey on Automatic Knowledge graph Construction," ACM Computing Surveys, vol. 56, no. 4, pp. 1–62, Sep. 2023, doi: 10.1145/3618295.
- [18] H. Wei and F. Li, "The storage capacity of a directed graph and node-wise autonomous, ubiquitous learning," Frontiers in Computational Neuroscience, vol. 17, p. 1254355, Oct. 2023, doi: 10.3389/fncom.2023.1254355.
- [19] C. J. Swarbrick et al., "Directed acyclic graphs to minimise bias and optimise causal inference in SNAP-3: an observational cohort study of frailty, multimorbidity, and delirium in older surgical patients," Br. J. Anaesth., vol. 135, no. 1, pp. 177–187, July 2025, doi: 10.1016/j.bja.2025.04.027.
- [20] M. Klebba, A. Adamczyk, M. Waż, and D. Iwen, "Application of Multi-Criteria Optimization Methods in the Calibration Process of Digital Measuring Instruments," Sensors, vol. 23, no. 6, p. 2984, Mar. 2023, doi: 10.3390/s23062984.
- [21] University of Colorado Denver, "Academic Planning Process," Office of the Provost, 2026. Available: <https://www.ucdenver.edu/offices/provost/academic-planning/academic-planning-process>
- [22] ScienceDirect, "Decision Support System," Computer Science Topics, 2026. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/decision-support-system>
- [23] M. Marttunen, J. Lienert, and P. Belton, "Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations," European Journal of Operational Research, vol. 263, no. 1, pp. 1–17, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.ejor.2017.04.039.
- [24] M. M. K. Dandu, V. Salunkhe, S. Agrawal, P. Goel, and V. Gupta, "Knowledge graphs for personalized recommendations," Innovative Research Thoughts, vol. 9, no. 1, pp. 450–479, Mar. 2023, doi: 10.36676/irt.v9.i1.1497.