



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y DISEÑO DIGITAL
CARRERA DE TELEMÁTICA

Trabajo de Integración Curricular previa la
obtención del Grado Académico de
Ingeniero en Telemática.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
MODELO CUALITATIVO BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL
GENERATIVA PARA EL DISEÑO DE INTERFACES EDUCATIVAS: APLICACIÓN
EN LA ENSEÑANZA DE TRIGONOMETRÍA

AUTOR:
MIYAKO KUSHIRO MORALES COBEÑA

DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
Ing. DAISY JUDITH NATA CASTRO, MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2025



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Miyako Kushiro Morales Cobeña**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Miyako Kushiro Morales Cobeña

C.I: 1250214887



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La suscrita, **Daisy Judith Nata Castro**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifico que el estudiante **Miyako Kushiro Morales Cobeña**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado "Modelo cualitativo basado en inteligencia artificial generativa para el diseño de interfaces educativas: aplicación en la enseñanza de trigonometría", previo a la obtención del título de Ingeniero en Telemática, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Daisy Judith Nata Castro, MSc.
DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

La suscrita, **Daisy Judith Nata Castro**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe de proyecto de Investigación titulado “**Modelo Cualitativo Basado en Inteligencia Artificial Generativa para el Diseño de Interfaces Educativas: Aplicación en la Enseñanza de Trigonometría**” Presentado por el estudiante **Miyako Kushiro Morales Cobeña**, egresado de la Carrera de Ingeniería en Telemática que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Computación y Diseño Digital, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis del sistema COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 97% y similitud 3%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.



Ing. Daisy Judith Nata Castro, MSc.
DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y DISEÑO DIGITAL
CARRERA DE INGENIERÍA TELEMÁTICA

PROYECTO DE INVESTIGACION

TÍTULO:

“Modelo Cualitativo Basado en Inteligencia Artificial Generativa para el Diseño de Interfaces Educativas: Aplicación en la Enseñanza de Trigonometría”

Presentado al Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Computación y Diseño Digital, como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Telemático

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
Ing. Torres Quijije Angel Ivan, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Oviedo Bayas Byron Wladimir, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Intriago Rodriguez Diego Fernando, MSc.

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR
2025

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, extendiendo un profundo agradecimiento a Dios, por la oportunidad de la existencia y por la experiencia del maravilloso viaje de la vida.

A mis padres, el Ab. José Morales y la Ing. Beatriz Cobeña, por brindarme un hogar sui géneris que me permitió un desenvolvimiento libre y me otorgó las capacidades para afrontar este reto académico. A mi hermano mayor, el Lic. Jonathan Omir, con quien siempre puedo compartir mis distintas facetas sin ser juzgado.

A mis demás familiares, tíos, primos y abuelos, quienes con sus palabras de aliento y cariño constante han sido un pilar fundamental en mi vida, motivándome a no desfallecer y a perseguir mis sueños con determinación.

A Leo, por su inquebrantable amistad a través de los años y por estar presente en cada etapa de mi vida. A Mel Villacís, Alejandro Rangel, Génesis Suárez, Dayana Avilés, Karla Ayala y Yandry Minda, mis amigos del colegio, quienes con sus enseñanzas me prepararon para la etapa universitaria.

Un agradecimiento especial para Kelly Zarsoza y Félix Gracia, por acompañarme durante esta travesía. A Steveen Quiroz, Abigail Mora, Nicole Briones, Daniel Vivas, Karelys Muñoz, Jhon Daniel y Joel Reyes, mis cómplices durante esta etapa, por todas las experiencias compartidas dentro y fuera de las aulas. Y a Gina por su ayuda.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, mi alma mater, por abrirme sus puertas y brindarme la formación académica y los espacios necesarios para forjar mi futuro profesional.

A la Ing. Daisy Nata, mi directora, por la confianza depositada en mí para realizar esta investigación. Al Ing. Angel Torres, al Ing. Cristian Zambrano y al Ing. Anthony Moran, mis maestros, por sus valiosas enseñanzas.

Un agradecimiento especial al Ing. Rafael Salinas, por brindarme una de las mejores experiencias de mi vida, pertenecer al club de robótica ROBUTEQ. Este espacio se convirtió en mi santuario, el lugar donde pude desenvolverme creativamente en la robótica y otros proyectos. Nadie entenderá lo mucho que disfruté pertenecer al club y gozar de los beneficios del laboratorio, gracias. A Don Braulio, quien siempre estuvo apoyando con su servicio y su calidez humana cada vez que me ayudaba a abrir dicho laboratorio.

Finalmente, y sin poder extenderme demasiado, agradezco a todas aquellas personas que conocí durante esta travesía universitaria, aquellos que me acompañaron y compartieron todo tipo de aventuras. Fueron muchos los que me aportaron y, aunque no es posible nombrarlos a todos, sé que ellos saben quiénes son. A cada persona con la que crucé palabras y compartí sonrisas, gracias por hacer que valga la pena cada segundo.

DEDICATORIA

Esta meta conseguida la dedico a todas las futuras experiencias y proyectos que definirán mi nueva etapa como profesional. Se la dedico a todas aquellas personas que aún he de conocer.

Comúnmente se afirma que al morir no nos llevamos nada, y es verdad. Pero nadie habla de lo que dejamos.

Por eso, dedico este trabajo a todo aquello que aspiro a dejarle a este maravilloso mundo.

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

La presente investigación aborda la ausencia de un marco metodológico estructurado para la integración de la inteligencia artificial generativa en el software educativo, una brecha que limita el desarrollo de herramientas pedagógicamente efectivas y seguras. El objetivo principal fue formular un modelo cualitativo que sirva como referencia para el diseño de interfaces educativas, aplicando dicho modelo en la construcción de una aplicación web para la enseñanza de la trigonometría. La metodología se enmarcó en un enfoque aplicado y descriptivo, con un diseño no experimental y transeccional, ejecutado en tres fases: la fundamentación conceptual del modelo mediante una revisión sistemática, el desarrollo del artefacto tecnológico "TrigTutor IA" y la validación empírica de su usabilidad con estudiantes de educación básica superior a través del cuestionario SUS. Como resultado principal, se obtuvo un modelo cualitativo con una arquitectura definida que estandariza la interacción con la inteligencia artificial, incorporando un bucle de validación, un núcleo de generación basado en ingeniería de instrucciones y una estrategia de andamiaje pedagógico, demostrando su aplicabilidad en la creación de una herramienta funcional que busca mitigar riesgos como la deuda cognitiva y potenciar el aprendizaje adaptativo.

Palabras clave: Modelo cualitativo, inteligencia artificial generativa, interfaces educativas, trigonometría, ingeniería de instrucciones.

ABSTRACT AND KEYWORDS

This research addresses the absence of a structured methodological framework for integrating generative artificial intelligence into educational software, a gap that limits the development of pedagogically effective and safe tools. The main objective was to formulate a qualitative model to serve as a reference for designing educational interfaces, applying this model in the construction of a web application for teaching trigonometry. The methodology was framed within an applied and descriptive approach, with a non-experimental and cross-sectional design, executed in three phases: the conceptual foundation of the model through a systematic review, the development of the "TrigTutor IA" technological artifact, and the empirical validation of its usability with high school students using the SUS questionnaire. As a primary result, a qualitative model with a defined architecture was obtained, which standardizes the interaction with artificial intelligence by incorporating a validation loop, a generation core based on prompt engineering, and a pedagogical scaffolding strategy, demonstrating its applicability in creating a functional tool that seeks to mitigate risks such as cognitive debt and enhance adaptive learning.

Keywords: Qualitative model, generative artificial intelligence, educational interfaces, trigonometry, prompt engineering.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Problema de investigación	4
1.1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.1.2. Diagnóstico	4
1.1.3. Pronóstico	5
1.1.4. Formulación del problema	5
1.1.5. Sistematización del problema	6
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo general:.....	6
1.2.2. Objetivos específicos:	6
1.3. Justificación	6
CAPÍTULO II	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. Marco conceptual.....	9
2.1.1. Modelo cualitativo	9
2.1.2. Inteligencia artificial generativa	10
2.1.3. Diseño de interfaces educativas	10
2.1.4. Trigonometría.....	10
2.1.5. Aplicación web.....	11
2.1.6. Software educativo.....	11
2.1.7. Interfaz de programación de aplicaciones (API)	11
2.1.8. Ingeniería de instrucciones	12
2.1.9. Andamiaje pedagógico (Scaffolding)	12
2.1.10. Aprendizaje adaptativo.....	13
2.2. Marco referencial	13

2.2.1. Impacto de las API impulsadas por IA en la gestión de la información educativa	13
2.2.2. Desafíos y oportunidades de la IA para el desarrollo sostenible en la educación..	14
2.2.3. El impacto de la inteligencia artificial en la educación, transformación de la forma de enseñar y de aprender.....	15
2.3. Marco legal	15
2.3.1. Constitución de la República del Ecuador	16
2.3.2. Ley orgánica de educación intercultural (LOEI)	16
2.3.3. Ley orgánica de protección de datos personales.....	17
2.3.4. Código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación (código ingenios).....	17
CAPÍTULO III.....	19
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
3.1. Localización.....	20
3.2. Tipos de investigación.....	20
3.2.1. Investigación aplicada.....	20
3.2.2. Investigación descriptiva	20
3.3. Métodos de investigación	21
3.3.1. Método analítico-sintético	21
3.3.2. Método deductivo	21
3.4. Fuentes de recopilación de información	21
3.5. Diseño de investigación	21
3.5.1. Diseño no experimental	21
3.5.2. Diseño transeccional o transversal.....	22
3.5.3. Participantes.....	22
3.5.4. Fases de la investigación.....	23
3.6. Instrumentos de investigación.....	24
CAPÍTULO IV.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25

4.1. Estructura y funcionalidad del modelo cualitativo para el diseño de interfaces educativas propuesto.....	26
4.1.1. Representación del modelo cualitativo para interfaces educativas con IA.....	26
4.1.2. Arquitectura y componentes del modelo.....	28
4.2. Construcción de la aplicación web “TrigTutor IA”	33
4.2.1. Metodología de desarrollo ágil scrum.....	34
4.2.2. Fases de construcción de desarrollo a través de iteraciones	35
4.2.3. Producto final: Aplicación web TrigTutor IA	36
4.3. Validación del modelo y experiencia de usuario.....	47
4.3.1. Resultados de la validación de los elementos del modelo	47
4.3.2. Evaluación de la experiencia de usuario	50
4.3.3. Resultados de la validación de expertos sobre el material educativo generado por la IA	52
4.4. Discusión.....	54
CAPÍTULO V	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
5.1. Conclusiones.....	58
5.2. Recomendaciones	58
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA	60
BIBLIOGRAFÍA	61
CAPÍTULO VII	67
ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Institución Educativa "Víctor Manuel Rendón".....	20
Figura 2. Representación del modelo cualitativo para el diseño de interfaces educativas con IA.	26
Figura 3. Elementos del bucle de validación.	29
Figura 4. Núcleo de Generación.	30
Figura 5. Constructor de instrucciones.	31
Figura 6. Procesamiento de Salida.....	32
Figura 7. Logo de la aplicación web: TrigTutor IA.	33
Figura 8. Instancia del modelo en la aplicación TrigTutorIA.....	38
Figura 9. Interfaz de bienvenida y entrada de usuario.	39
Figura 10. Validación de relevancia del tema en la interfaz de chat.....	40
Figura 11. Renderización del contenido generado por la IA en la vista de contenido.....	41
Figura 12. Estructura pedagógica del contenido en el nivel de soporte máximo.	42
Figura 13. Práctica guiada con retroalimentación inmediata.....	43
Figura 14. Asistencia contingente como parte del andamiaje en la práctica guiada.....	44
Figura 15. Evaluación para la autonomía con soporte mínimo.	45
Figura 16. Módulo de recursos como herramienta de apoyo estático.	46
Figura 17. Panel de estadísticas para el fomento de la metacognición.....	46
Figura 18. Percepción de la utilidad de las restricciones temáticas.....	47
Figura 19. Valoración del orden y claridad de las lecciones generadas.....	48
Figura 20. Utilidad percibida de la retroalimentación automática.....	49
Figura 21. Identificación de la progresión hacia la autonomía.....	50
Figura 22. Distribución de puntajes SUS.....	51
Figura 23. Promedio de respuestas por pregunta SUS.....	52
Figura 24. Comparativa de rendimiento promedio: práctica guiada vs. Evaluación autónoma.	84
Figura 25. Distribución Porcentual del Tiempo de Interacción por Módulo.	85
Ilustración 26. Socialización grupal.	86
Ilustración 27. Socialización personalizada.	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos curriculares para el desarrollo de "TrigTutor IA".....	34
Tabla 2. Resultados de la validación por juicio de expertos.	53
Tabla 3. Posicionamiento del modelo cualitativo en el panorama de investigación.....	55
Tabla 4. Historias de usuario del epic 1: configuración del núcleo de IA y comunicación. ..	68
Tabla 5. Historias de usuario del epic 2: interfaz de usuario y experiencia de aprendizaje (UI/UX).....	69
Tabla 6. Historias de usuario del epic 3: generación de contenido pedagógico adaptativo ...	69
Tabla 7. Historias de usuario del epic 4: sistema de validación y seguridad	70
Tabla 8. Historias de usuario del epic 4: sistema de validación y seguridad	70
Tabla 9. Alineación de las funcionalidades de TrigTutor IA con el Currículo Nacional.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PILA DE PRODUCTO INICIAL.	68
ANEXO 2. INSTRUCCIONES ESTRUCTURADAS DE LA APLICACIÓN.....	72
ANEXO 3. RESPUESTAS ESTRUCTURADAS ESPERADAS.	76
ANEXO 4. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS: CUESTIONARIO DE VALIDACIÓN Y USABILIDAD (TRIGTUTOR IA).....	82
ANEXO 5. DATOS RECOLECTADOS DE LA APLICACIÓN.....	84
ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA VALIDACIÓN EMPÍRICA.....	86

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Modelo cualitativo basado en inteligencia artificial generativa para el diseño de interfaces educativas: aplicación en la enseñanza de trigonometría		
Autor:	Miyako Kushiro Morales Cobeña		
Palabras claves:	Modelo cualitativo	Inteligencia artificial generativa	Interfaces educativas
Fecha de publicación:	2025		
Editorial:	Quevedo- UTEQ, 2025		
Resumen: (hasta 300 palabras)	Resumen. - Esta investigación aborda la falta de un marco metodológico para integrar IA generativa en software educativo. El objetivo fue formular un modelo cualitativo de diseño de interfaces, aplicado en una aplicación web de trigonometría "TrigTutor IA". Con una metodología aplicada, descriptiva y diseño no experimental, se fundamentó el modelo, se desarrolló el software y se validó su usabilidad con estudiantes mediante el cuestionario SUS. El resultado principal es una arquitectura que estandariza la interacción con la IA a través de un bucle de validación e ingeniería de instrucciones, demostrando ser una herramienta funcional que mitiga la deuda cognitiva y potencia el aprendizaje adaptativo. (...)		
Abstract: (hasta 300 palabras)	Abstract. - This research addresses the lack of a methodological framework for integrating generative AI into educational software. The objective was to formulate a qualitative interface design model, applied in a trigonometry web app "TrigTutor IA". Using an applied, descriptive, non-experimental methodology, the model was founded, the software developed, and its usability validated with students via SUS. The main result is an architectural model standardizing AI interaction through validation loops and prompt engineering, proving to be a functional tool that mitigates cognitive debt and enhances adaptive learning. (...)		
Descripción:	103 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162		
URI:			

INTRODUCCIÓN

La irrupción de la inteligencia artificial ha generado un debate de alcance global sobre su rol en la sociedad, oscilando entre el temor a la sustitución humana y la visión de la tecnología como una herramienta complementaria. Ante este escenario, se consolidó la necesidad de promover un enfoque que conceptualizara a la inteligencia artificial (IA) como un recurso para potenciar las habilidades humanas, no para reemplazarlas. El desafío consistió en integrar esta tecnología de forma que su complejidad no resultara abrumadora, sino accesible y constructiva para el usuario. Una solución técnica para ello fue el uso de interfaces de programación de aplicaciones (API) [1], que permiten ofrecer las capacidades de la IA de una manera controlada y enfocada.

Este enfoque de integración ha encontrado un campo de aplicación crucial en la educación. En el contexto de América Latina, si bien se reconoce el potencial de la IA para reducir brechas educativas, su adopción enfrenta barreras significativas como la falta de infraestructura y la necesidad de marcos metodológicos que guíen su implementación. El simple hecho de hacer accesible una API de inteligencia artificial a través de una interfaz no garantiza la creación de una herramienta pedagógicamente efectiva [2]. Se identificó una brecha importante, la ausencia de un marco de diseño estructurado que oriente a desarrolladores sobre cómo construir estas interfaces que integran IA generativa para que faciliten el aprendizaje. Sin una metodología clara, existe el riesgo de crear aplicaciones que fomenten la dependencia excesiva de la tecnología [3].

Para dar respuesta a esta problemática de diseño, esta investigación se centró en el desarrollo de un modelo cualitativo para el diseño de interfaces educativas basadas en IA generativa. El objetivo principal fue establecer una metodología replicable que conectara los principios pedagógicos con las capacidades técnicas de la IA, asegurando que el producto final fuera una herramienta de apoyo. Para demostrar la validez y aplicabilidad de este modelo, se lo utilizó en el diseño y construcción de una aplicación web enfocada en la enseñanza de la trigonometría [4]. Esta área fue seleccionada como caso de estudio debido a las deficiencias de aprendizaje identificadas en matemáticas en el contexto ecuatoriano [5], lo que permitió probar el modelo en un escenario real y complejo cuya validación se realizó de manera específica con estudiantes de la escuela de educación básica "Víctor Manuel Rendón" en el cantón Valencia [6], [7].

El Capítulo I aborda la contextualización del problema, destacando el desafío que representa la integración efectiva de la inteligencia artificial en la educación y la ausencia de marcos de diseño que prioricen la pedagogía. Se analiza la necesidad de conceptualizar la IA como una herramienta de apoyo en lugar de un sustituto, y se plantea como problemática central la brecha existente entre las capacidades tecnológicas y las estrategias instruccionales. Asimismo, se formulan los objetivos de la investigación, orientados al desarrollo de un modelo cualitativo de diseño, y se justifica la pertinencia del estudio en el marco de la mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En el Capítulo II se desarrolla la fundamentación teórica que sustenta la investigación. Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura, abordando los conceptos clave de la inteligencia artificial generativa, los principios del diseño de interfaces educativas y las teorías pedagógicas que son fundamentales para el desarrollo del modelo. Además, se analizan trabajos previos y el estado del arte en la materia, lo que permite establecer las bases conceptuales y técnicas sobre las cuales se construye la propuesta de este estudio.

El Capítulo III detalla la metodología que guió el proyecto, la cual se enmarca en una investigación de tipo aplicada y descriptiva. Se explican los métodos de investigación empleados, incluyendo el analítico-sintético para la deconstrucción y posterior construcción de la solución, y el deductivo para transitar de la teoría general a la validación empírica. El diseño de la investigación se define como no experimental y transeccional, ya que observa el fenómeno en su contexto natural y en un único momento en el tiempo. Finalmente, se presenta la estructura de la investigación organizada en tres fases: la primera, de fundamentación y diseño conceptual del modelo; la segunda, de desarrollo del artefacto tecnológico, y la tercera, de validación empírica mediante instrumentos de usabilidad.

El Capítulo IV presenta los resultados y la discusión de la investigación. Primero, detalla el modelo cualitativo propuesto, incluyendo su arquitectura y componentes clave. Luego, describe la construcción de la aplicación web "TrigTutor IA", mostrando cómo implementa los principios teóricos del modelo, como el andamiaje pedagógico. Finalmente, se analizan los resultados para validar la utilidad del modelo en el desarrollo de software educativo.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

La llegada de la inteligencia artificial generativa presenta una oportunidad transformadora para la educación, al ofrecer un potencial sin precedentes para crear herramientas de aprendizaje personalizadas. Sin embargo, la mera disponibilidad de esta potente tecnología no garantiza su aplicación efectiva en el ámbito educativo. El principal obstáculo para aprovechar su potencial radica en la ausencia de un modelo cualitativo, estructurado y accesible, que sirva como un puente metodológico entre los principios pedagógicos y las capacidades técnicas de la IA [8].

Esta carencia de un marco de diseño referencial constituye una brecha crítica que limita la creación de interfaces educativas que sean no solo funcionalmente interactivas [9], sino también pedagógicamente sólidas. Sin una guía clara, los desarrolladores y educadores se enfrentan al desafío de integrar una tecnología compleja sin una hoja de ruta que asegure que el producto final fomente la autonomía y la comprensión profunda en lugar de la dependencia o la confusión [10].

Por consiguiente, el problema central que esta investigación aborda es la falta de un modelo cualitativo claramente definido que sirva como una guía general y replicable para el diseño y la integración de la inteligencia artificial generativa en el software educativo.

1.1.2. Diagnóstico

El estado actual de la integración de la IA en la educación, aunque prometedor, evidencia los riesgos de una implementación sin un marco estructurado. Diversos estudios señalan que las aplicaciones existentes a menudo enfrentan desafíos significativos que pueden obstaculizar el aprendizaje. Entre los principales se encuentran el riesgo de desinformación y sesgos, ya que los sistemas pueden generar información inexacta, la preocupación por una dependencia excesiva de los estudiantes hacia estas herramientas, lo que podría mermar el desarrollo del pensamiento crítico [11], [12].

Un alarmante 70.9% de los estudiantes ecuatorianos no alcanza el nivel 2, considerado el umbral mínimo de competencias en matemáticas. Este bajo desempeño se ha mantenido, como lo confirman los datos más recientes de la evaluación ser estudiante 2022-2023 para la básica superior. En esta prueba, el estándar de aprendizaje que incluye la aplicación de razones trigonométricas muestra que más del 82% de los estudiantes se encuentra por debajo del nivel de desempeño intermedio, evidenciando que las dificultades en áreas complejas no han sido superadas [13].

El análisis de los factores asociados a estos resultados apunta a debilidades sistémicas que la tecnología por sí sola no puede resolver. Un estudio sobre la evaluación ser estudiante 2023 reveló que un 81% de los docentes conoce poco o nada sobre los resultados de estas evaluaciones estandarizadas, y los propios profesores reconocen como causas de los bajos resultados sus "limitaciones en la instrucción" y "debilidades metodológicas" [14]. Este diagnóstico integral subraya que la simple introducción de la IA no es suficiente, la persistencia del bajo rendimiento académico, junto a los riesgos de una tecnología mal implementada, demuestra la necesidad crítica de una guía estructurada como el modelo cualitativo propuesto que asegure una integración efectiva y segura para hacer frente a estos desafíos educativos.

1.1.3. Pronóstico

De persistir la ausencia de un marco de diseño estructurado, se prevé que la integración de la inteligencia artificial generativa en la educación continuará de manera desordenada y experimental. Esto resultará en la proliferación de herramientas tecnológicas que, aunque funcionales, serán pedagógicamente débiles, perpetuando riesgos como la dependencia estudiantil y la falta de profundidad en el aprendizaje. Sin una guía clara, el enorme potencial de la IA para transformar la educación quedará desaprovechado.

Por el contrario, la adopción de un modelo cualitativo como el propuesto en esta investigación, ofrecerá una hoja de ruta clara para el desarrollo de software educativo. Al estandarizar la integración de principios pedagógicos con la tecnología, se facilitará la creación de herramientas efectivas, seguras y verdaderamente adaptativas. Este enfoque no solo mitigará los riesgos, sino que permitirá aprovechar de manera responsable el potencial de la IA para mejorar de forma significativa la calidad de la educación.

1.1.4. Formulación del problema

- ¿Cuáles son los componentes, principios y directrices que debe contener un modelo cualitativo para facilitar el desarrollo de software educativo adaptativo y personalizado, basado en inteligencia artificial generativa, para la enseñanza de la trigonometría?

1.1.5. Sistematización del problema

- ¿Qué características arquitectónicas y pedagógicas debe poseer un modelo para conectar una IA generativa con las necesidades de un software para la práctica de la trigonometría?
- ¿De qué manera se puede implementar el modelo cualitativo formulado en el desarrollo de una aplicación web funcional que facilite la práctica de conceptos básicos de trigonometría?
- ¿Cómo la evaluación de la usabilidad de la aplicación web desarrollada permite validar la pertinencia y utilidad del modelo cualitativo propuesto como referencia para la enseñanza de la trigonometría?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general:

- Formular un modelo cualitativo que sirva de referencia en la construcción de software educativo enfocado a la práctica de trigonometría en estudiantes de educación básica superior mediante la incorporación de inteligencia artificial generativa.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Esbozar un modelo que ilustre la manera de consumir la interfaz de programación de aplicación de una inteligencia artificial generativa para la construcción de software educativo a la medida.
- Construir una aplicación web basada en el modelo formulado, para la práctica de conceptos básicos de trigonometría.
- Determinar la usabilidad de la aplicación desarrollada a la práctica de trigonometría, mediante un estudio de usuarios enfocado a la descripción de la utilidad del modelo propuesto.

1.3. Justificación

La presente investigación se justifica ante la confluencia de dos escenarios críticos, la persistente necesidad de mejorar el rendimiento académico en Ecuador y la irrupción de la inteligencia artificial generativa como una tecnología de alto impacto, cuyo uso no guiado puede tener consecuencias cognitivas adversas para el estudiante.

Desde una perspectiva práctica y social, la necesidad de este estudio es innegable. Las evaluaciones estandarizadas demuestran un desafío estructural en el sistema educativo ecuatoriano, particularmente en matemáticas. Esta realidad exige la creación de soluciones innovadoras. La IA generativa ofrece una oportunidad única para diseñar herramientas que personalicen el aprendizaje y ofrezcan retroalimentación adaptativa, abordando directamente estas deficiencias.

Sin embargo, desde el punto de vista metodológico y tecnológico, la implementación de estas herramientas conlleva un riesgo fundamental. Investigaciones recientes del instituto de tecnología de Massachusetts (MIT) han demostrado que la dependencia de asistentes de IA para tareas de escritura puede llevar a una deuda cognitiva. El estudio revela que los usuarios que dependen de un LLM muestran una conectividad neuronal más débil, una capacidad de memoria reducida sobre sus propios escritos y un menor sentido de autoría en comparación con quienes no usan estas herramientas. Este fenómeno de descarga cognitiva, si no se gestiona, puede comprometer el desarrollo del pensamiento crítico y las habilidades de aprendizaje a largo plazo. Por tanto, este trabajo se justifica al proponer un modelo cualitativo que actúa como un puente metodológico, proporcionando una hoja de ruta que asegura que la tecnología se integre de una manera que mitigue estos riesgos [15].

Finalmente, en el ámbito académico, esta investigación contribuye con un modelo validado que sirve como referencia para un uso responsable de la IA en la educación. Al desarrollar un modelo que orienta la construcción de herramientas de IA como un complemento a la labor docente y no como un sustituto que atrofie las capacidades cognitivas, se promueve un aprendizaje significativo y seguro. De esta manera, el proyecto no solo busca impactar un área de conocimiento específica, sino también sentar las bases para el diseño de futuras generaciones de software educativo que potencien, en lugar de disminuir, las habilidades intelectuales de los estudiantes en los diversos campos del conocimiento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

El presente marco conceptual define y contextualiza los términos esenciales que fundamentan el desarrollo del "MODELO CUALITATIVO BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA PARA EL DISEÑO DE INTERFACES EDUCATIVAS: APLICACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE TRIGONOMETRÍA". La comprensión de estos conceptos es crucial para establecer una base sólida y unificada en la investigación.

2.1.1. Modelo cualitativo

El modelo cualitativo, como paradigma de investigación, consolidado gracias a las contribuciones de diversos académicos que han enfatizado su naturaleza particular y su enfoque en la comprensión profunda de los fenómenos.

Norman K. Denzin e Yvonna S. Lincoln, en su obra fundamental "Handbook of Qualitative Research", conciben la investigación cualitativa como un campo interdisciplinario, transdisciplinario y, en ocasiones, contradisciplinario que atraviesa las humanidades, las ciencias sociales y las ciencias físicas. Para estos autores, el investigador cualitativo es un bricoleur, término que denota a quien emplea una diversidad de herramientas y métodos para desentrañar la complejidad inherente al mundo. Su perspectiva subraya la flexibilidad y la amplitud metodológica que caracterizan a este enfoque de investigación [16].

Steven J. Taylor y Robert Bogdan, en su publicación "Introducción a los métodos cualitativos de investigación", definen la metodología cualitativa como aquella que produce datos descriptivos como las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable. Estos autores resaltan la importancia crítica de comprender el punto de vista de los participantes desde su propio marco de referencia, lo cual implica una inmersión en el contexto y la experiencia subjetiva de los individuos estudiados [17].

Barney G. Glaser y Anselm L. Strauss, pioneros de la Teoría Fundamentada (*Grounded Theory*), ofrecieron una perspectiva innovadora sobre la investigación cualitativa con su libro "The Discovery of Grounded Theory". Su propuesta se centra en el desarrollo de teoría a partir de los datos recopilados de manera sistemática, en un proceso iterativo de recolección y análisis. Para Glaser y Strauss, el modelo cualitativo permite la emergencia de conceptos y teorías directamente desde la evidencia empírica, a través de un constante vaivén entre la recolección de datos y su análisis, lo que asegura que la teoría desarrollada esté intrínsecamente ligada a la realidad estudiada [18].

2.1.2. Inteligencia artificial generativa

Se entiende por inteligencia artificial generativa (IAG) a una categoría de sistemas algorítmicos cuyo propósito es la producción de contenido inédito, abarcando una variedad de medios como elaboraciones textuales, secuencias de código, material gráfico, clips de video y composiciones de audio. El campo de la investigación y publicación científica ha experimentado una transformación significativa con la llegada de los modelos de lenguaje extenso (LLM). Estos modelos se distinguen por su capacidad para componer textos con una similitud notable a la redacción humana, lo cual ha facilitado su acceso y rápida adopción por parte del público general [19].

2.1.3. Diseño de interfaces educativas

El diseño de interfaces educativas se concibe como un proceso estructurado que aplica patrones de diseño de interfaz de usuario entendidos como soluciones probadas para la construcción de la interacción hombre-máquina con el fin de facilitar el desarrollo de aplicaciones destinadas al ámbito del aprendizaje. El objetivo principal de este enfoque es la creación de herramientas que no solo se visualicen correctamente en distintos dispositivos, sino que también presenten el contenido educativo de una manera ordenada, sencilla y fácil de usar, optimizando así la experiencia del estudiante [20].

Desde una perspectiva centrada en la cognición, el diseño de interfaces educativas se define como la concepción de herramientas computacionales cuyo propósito fundamental no es la mera transmisión de información, sino el soporte activo de los procesos de pensamiento humano. Este enfoque busca rediseñar la interacción para facilitar la capacidad del estudiante de generar ideas, razonar de manera crítica y resolver problemas complejos, especialmente en dominios como la ciencia y las matemáticas. En esencia, una interfaz educativa efectiva debe ser diseñada como una herramienta para pensar que, adoptando una perspectiva humana, modelada a partir del comportamiento natural del usuario para ser más intuitiva y reducir la carga cognitiva superflua [21].

2.1.4. Trigonometría

La trigonometría es la rama de las matemáticas dedicada al estudio de las relaciones existentes entre los ángulos y los lados de los triángulos. Esta disciplina está enfocada en analizar cómo las medidas de los ángulos determinan las longitudes de los lados y, de manera recíproca, cómo a partir de las longitudes de los lados es posible calcular los ángulos. Su campo de aplicación es fundamental para la resolución de problemas geométricos y el modelado de fenómenos periódicos [22].

2.1.5. Aplicación web

En el ámbito del desarrollo de software, una aplicación web es un programa informático o sitio web ejecutado en internet y al que se accede a través de un navegador. Su característica fundamental es que no requiere un proceso de instalación en el ordenador del usuario final. Autores como Lujan Mora [23] las describen como herramientas que facilitan a los usuarios el acceso a un servidor web por medio de una red, la cual puede ser tanto una red privada como la red pública de internet. Estas aplicaciones se programan utilizando lenguajes como HTML y funcionan sobre el protocolo HTTP para establecer la comunicación y el envío de ficheros entre el servidor y el cliente [24], [25].

2.1.6. Software educativo

El software educativo es una herramienta pedagógica digital, definida de manera general como cualquier aplicación o programa computacional diseñado específicamente para facilitar y apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Estas herramientas utilizan el computador como soporte principal y se caracterizan por su finalidad didáctica, su facilidad de uso a través de interfaces intuitivas y su capacidad de interactividad, la cual permite un intercambio efectivo de información con el estudiante [26].

Dentro del ecosistema del software educativo, existen diversas clasificaciones según su propósito pedagógico. Entre las más relevantes se encuentran los tutores, que presentan contenidos de forma secuencial, los simuladores, que proporcionan entornos de aprendizaje basados en situaciones reales y los sistemas de práctica y ejercitación, que ofrecen ejercicios para la adquisición de destrezas específicas. Este tipo de programas está destinado tanto a la enseñanza guiada como al autoaprendizaje, buscando fomentar el desarrollo de habilidades cognitivas en los usuarios [27].

2.1.7. Interfaz de programación de aplicaciones (API)

Una Interfaz de Programación de Aplicaciones, es un componente crucial en el desarrollo de software moderno. Se constituye como una descripción de interfaces, con sus respectivos atributos y operaciones, que es independiente de la plataforma y del lenguaje de programación. Su función principal es simplificar la tarea de procesar lenguajes complejos, proporcionando un conjunto estandarizado de protocolos y definiciones para diseñar e integrar el software de las aplicaciones [28], [29].

2.1.8. Ingeniería de instrucciones

La ingeniería de instrucciones (*Prompt Engineering*) definida como la disciplina mediante la que los modelos de lenguaje extensos (LLMs) son programados a través de instrucciones denominadas prompts [30]. Una instrucción consiste en un conjunto de instrucciones que proporcionadas a un LLM para personalizar, mejorar o refinar sus capacidades. Este proceso es una forma de programación que establece el contexto de una conversación e influye en las interacciones y resultados posteriores, dictando las reglas, el formato y el contenido deseado en la respuesta del modelo. Por lo tanto, esta práctica es fundamental para conversar de manera efectiva con una inteligencia artificial, ya que permite estructurar y matizar los resultados para una amplia variedad de tareas[31], [32].

2.1.9. Andamiaje pedagógico (*Scaffolding*)

El andamiaje pedagógico, o scaffolding, es una técnica de instrucción cuyo origen se atribuye a los trabajos de Wood, Bruner y Ross (1976). En su concepción original, se define como una forma de asistencia oportuna que permite a un niño o novato para resolver un problema, llevar a cabo una tarea o alcanzar un objetivo que estaría más allá de sus esfuerzos sin ayuda. Este concepto está intrínsecamente ligado a la teoría sociocultural de Lev Vygotsky, específicamente a su constructo de la zona de desarrollo próximo (ZPD), que representa la distancia entre lo que un aprendiz puede hacer de forma independiente y lo que puede lograr con la guía de un experto o un par más capaz[33].

A diferencia de una estructura rígida, el andamiaje en el ámbito educativo es un soporte temporal, dinámico y fluido, ajustado al progreso del estudiante con el propósito de ayudarlo a volverse autorregulado. Para que esta técnica sea efectiva, debe presentar características clave como la contingencia, es decir, el apoyo se proporciona solo cuando es necesario y se adapta al nivel de comprensión del estudiante el desvanecimiento, que implica que la ayuda se retira gradualmente a medida que el estudiante adquiere mayor competencia y la transferencia de responsabilidad, donde el control de la tarea se traslada progresivamente del tutor al aprendiz, permitiendo que este último gane autonomía en su proceso de aprendizaje [34].

2.1.10. Aprendizaje adaptativo

El aprendizaje adaptativo es un método educativo que utiliza plataformas tecnológicas para personalizar el proceso de enseñanza y atender a la diversidad en el aula. Se define como un enfoque para la creación de una experiencia de aprendizaje individualizada que emplea un sofisticado sistema computacional basado en datos. Este sistema se fundamenta en el análisis de los datos generados por la interacción del estudiante con los contenidos, lo que permite modificar la propuesta educativa en tiempo real para ajustarla a su desempeño, ritmo y necesidades específicas. A diferencia de los modelos lineales, el aprendizaje adaptativo presenta una aproximación no-lineal a la instrucción y la retroalimentación, ya que se ajusta dinámicamente según las interacciones del alumno, anticipando los recursos que necesitará para progresar de manera efectiva [35].

2.2. Marco referencial

2.2.1. Impacto de las API impulsadas por IA en la gestión de la información educativa

En una reciente revisión sistemática que analiza el impacto de las interfaces de programación de aplicaciones impulsadas por inteligencia artificial en la educación, Pérez-Jorge et al. (2025) [36] examinan 27 estudios publicados entre 2013 y 2025 para identificar patrones, beneficios y brechas en la literatura científica. Los hallazgos de la investigación destacan cinco beneficios principales derivados de esta integración tecnológica: la interoperabilidad de datos entre plataformas, el aprendizaje personalizado, la retroalimentación automatizada, el monitoreo de estudiantes en tiempo real y el análisis predictivo del rendimiento académico.

El estudio revela que la personalización del aprendizaje es un área de interés central, siendo abordada por el 100% de los trabajos analizados, mientras que la integración de plataformas mediante API y la retroalimentación generada por IA fueron objeto de estudio en el 74.1% y 37% de los casos, respectivamente. Entre los resultados pedagógicos reportados, se observaron mejoras significativas en el compromiso del estudiante (63%), la comprensión de los contenidos (55.6%) y el rendimiento académico general (48.1%). A pesar de estos avances, la revisión también identifica desafíos importantes, como las preocupaciones sobre la privacidad de los datos, el riesgo de sesgo algorítmico y limitaciones metodológicas en las investigaciones existentes, tales como el uso de muestras pequeñas y la falta de evaluaciones longitudinales [36].

2.2.2. Desafíos y oportunidades de la IA para el desarrollo sostenible en la educación

En su informe para responsables de políticas educativas, la UNESCO [37] analiza el rol de la inteligencia artificial como una herramienta con el potencial de transformar la educación en el marco del objetivo de desarrollo sostenible 4, que busca garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa para todos. El documento explora cómo la IA puede ser aprovechada para mejorar los resultados del aprendizaje, presentando ejemplos de cómo la tecnología puede ayudar a los sistemas educativos a utilizar datos para mejorar la equidad y la calidad, especialmente en países en desarrollo. La principal oportunidad identificada reside en la capacidad de la IA para promover la personalización del aprendizaje, creando planes y trayectorias de estudio individuales que se adaptan a las fortalezas, debilidades y preferencias de cada estudiante.

Dentro de las nuevas posibilidades tecnológicas, el informe destaca los sistemas de tutoría inteligente (ITS) como un campo clave para expandir las oportunidades de aprendizaje. Se plantea un modelo de doble profesor, en el cual un asistente de enseñanza virtual, impulsado por IA, se encarga de las tareas rutinarias y repetitivas, como responder preguntas frecuentes o realizar evaluaciones. Esta automatización libera tiempo valioso para los docentes humanos, permitiéndoles centrarse en la orientación personalizada, la comunicación uno a uno y el apoyo socioemocional, trabajando en conjunto con los asistentes de IA para obtener los mejores resultados para sus alumnos. De esta manera, la IA busca potenciar el rol del docente, permitiéndole dedicarse a los aspectos más creativos y empáticos de su profesión.

A pesar de estas oportunidades, la UNESCO también subraya una serie de desafíos críticos que deben ser abordados para una implementación exitosa y ética de la IA en la educación. Entre los principales retos se encuentran la necesidad de desarrollar políticas públicas integrales, asegurar la inclusión y la equidad para evitar la ampliación de la brecha digital, y la preparación de los docentes para que puedan utilizar estas nuevas herramientas de manera pedagógica y significativa. Asimismo, se hace hincapié en la importancia de desarrollar sistemas de datos inclusivos y de alta calidad, y en abordar las consideraciones éticas y de transparencia en la recopilación y uso de la información de los estudiantes.

2.2.3. El impacto de la inteligencia artificial en la educación, transformación de la forma de enseñar y de aprender

La inteligencia artificial ha demostrado su capacidad de transformar la educación al permitir una enseñanza más personalizada. Mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático, la inteligencia artificial puede adaptar contenidos educativos a las necesidades individuales de los estudiantes, facilitando el acceso a herramientas interactivas como simulaciones y juegos digitales. Asimismo, facilita la creación de recursos interactivos, como simulaciones y juegos educativos, que hacen el aprendizaje más atractivo y efectivo. Además, contribuye a la accesibilidad al proporcionar soluciones para estudiantes con discapacidades o con acceso limitado a recursos de calidad. En conjunto, la inteligencia artificial reinventa el proceso educativo al ofrecer nuevas oportunidades para mejorar la experiencia de aprendizaje de manera significativa [11].

Mientras que los trabajos analizados en el marco referencial ofrecen un panorama descriptivo y analítico sobre el impacto general de la inteligencia artificial en la educación, esta investigación se distingue por su enfoque prescriptivo y aplicado. En lugar de limitarse a documentar los beneficios y desafíos, este proyecto aborda la brecha metodológica existente al proponer un modelo cualitativo como una arquitectura de referencia para el desarrollo de software educativo. Por lo tanto, la contribución fundamental es el propio modelo como guía replicable, mientras que la aplicación "TrigTutor IA" se constituye como la materialización y validación práctica de dicho marco en un dominio específico y de alta necesidad como es la enseñanza de la trigonometría.

2.3. Marco legal

El presente proyecto de investigación se fundamenta en el ordenamiento jurídico ecuatoriano, que establece los derechos y obligaciones del Estado y de los ciudadanos en materia de educación, acceso a la tecnología, protección de la información personal y propiedad intelectual. Las siguientes normativas constituyen el sustento principal de este trabajo.

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador

La Constitución, como norma suprema, ampara y orienta esta investigación a través de los siguientes artículos:

- Art. 26:

Reconoce a la educación como un "derecho de las personas a lo largo de su vida y un deber ineludible e inexcusable del Estado". Este proyecto se alinea con dicho mandato al proponer un modelo basado en inteligencia artificial para mejorar la enseñanza de la trigonometría.

- Art. 66, numeral 19:

Garantiza a las personas "El derecho a la protección de datos de carácter personal, que incluye el acceso y la decisión sobre información y datos de este carácter, así como su correspondiente protección". Este derecho es fundamental para la tercera fase del proyecto, donde se realizará un estudio de usabilidad con estudiantes.

- Art. 322:

Reconoce la "propiedad intelectual de acuerdo con las condiciones que señale la ley" y prohíbe "toda forma de apropiación de conocimientos colectivos". Este artículo sustenta la protección de los productos intelectuales generados en esta investigación: el modelo cualitativo y el software educativo.

- Art. 347, numeral 8:

Establece como responsabilidad del Estado "Incorporar las tecnologías de la información y comunicación en el proceso educativo y propiciar el enlace de la enseñanza con las actividades productivas o sociales". La presente tesis materializa este objetivo al integrar la inteligencia artificial generativa en una herramienta pedagógica[38].

2.3.2. Ley orgánica de educación intercultural (LOEI)

Esta ley, que rige el Sistema Nacional de Educación, respalda la implementación de innovaciones pedagógicas y tecnológicas:

- Art. 2, literal w:

Define entre los principios de la educación la "Calidad y calidez", garantizando el derecho a una educación "pertinente, adecuada, contextualizada, actualizada y articulada en todo el proceso educativo". El modelo propuesto busca contribuir directamente a este principio mediante la personalización del aprendizaje.

- Art. 6, literal j:

Establece como una de las obligaciones del Estado "Garantizar la alfabetización digital y el uso de las tecnologías de la información y comunicación en el proceso educativo". Este proyecto es una aplicación directa de dicha obligación, al desarrollar una herramienta tecnológica para la enseñanza [39].

2.3.3. Ley orgánica de protección de datos personales

Esta normativa es de cumplimiento crítico para el proyecto, especialmente para el estudio de usuarios con estudiantes de educación básica superior, garantizando el tratamiento legítimo y seguro de su información.

- Art. 1:

Tiene como objeto y finalidad "garantizar el ejercicio del derecho a la protección de datos personales, que incluye el acceso y decisión sobre información y datos de este carácter, así como su correspondiente protección".

- Art. 7:

Establece las condiciones para un tratamiento legítimo de datos, entre las que se incluye el "consentimiento del titular para el tratamiento de sus datos personales, para una o varias finalidades específicas" y el cumplimiento de una "misión realizada en interés público", como lo es la investigación educativa [40].

2.3.4. Código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación (código ingenios)

Este código regula la gestión del conocimiento y la propiedad intelectual del software y de las obras creadas en el ámbito académico, siendo directamente aplicable a los resultados de esta tesis.

- **Art. 114:** Norma la titularidad de derechos de obras creadas en instituciones de educación superior. Establece que en trabajos de titulación o proyectos de investigación, "la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores". Sin embargo, el establecimiento educativo "tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos". Este artículo define con claridad la propiedad intelectual tanto del modelo cualitativo como de la aplicación web desarrollada.

- Art. 116:

Determina que, en consultorías o servicios contratados por el Estado, "la titularidad de los derechos patrimoniales le corresponderá a la Entidad Contratante, que tendrá la obligación de hacerlo público y accesible". Este punto es relevante en caso de que la investigación reciba financiamiento público específico bajo esta modalidad.

- Art. 131:

Especifica que "El software se protege como obra literaria". Dicha protección se otorga independientemente de la forma en que esté expresado, ya sea como código fuente o como código objeto. Esto asegura la protección de la aplicación web que se construirá como parte de los objetivos de este trabajo [41].

CAPÍTULO III

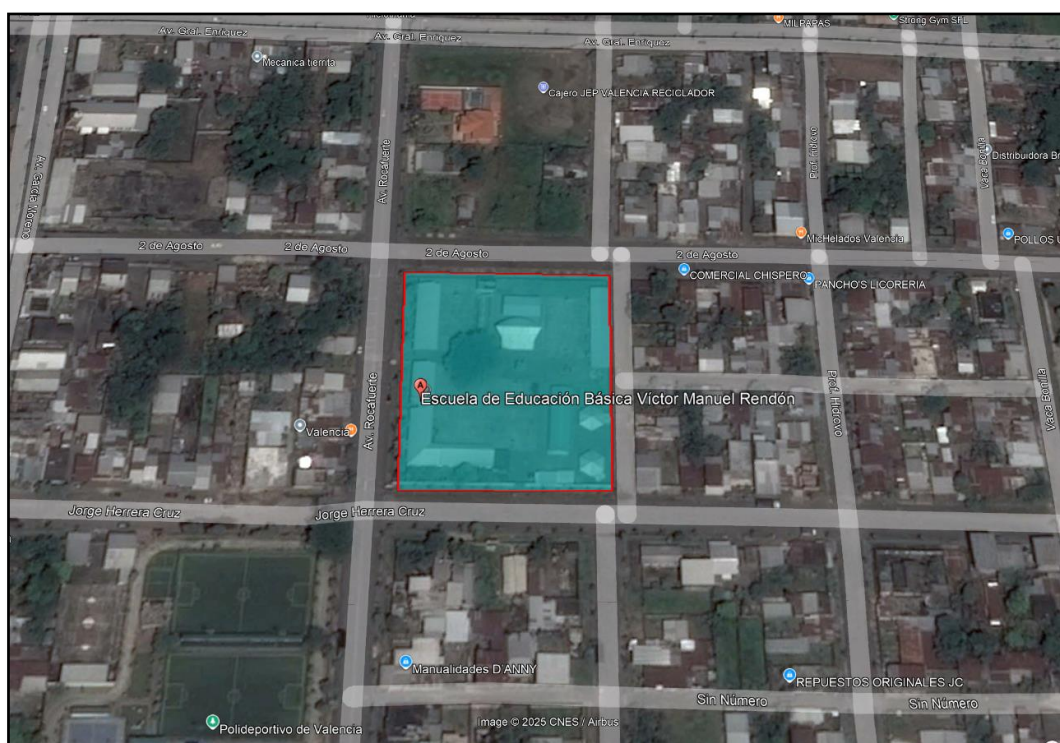
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La fase de validación empírica de la presente investigación, que comprende la aplicación de los instrumentos de usabilidad con los participantes, se llevó a cabo en las instalaciones de la Escuela de Educación Básica "Víctor Manuel Rendón". La institución educativa se encuentra ubicada en el cantón Valencia, provincia de Los Ríos, Ecuador, en las coordenadas geográficas $0^{\circ}57'00.4''$ de latitud Sur y $79^{\circ}21'08.5''$ de longitud Oeste.

Figura 1.

Ubicación de la Institución Educativa "Víctor Manuel Rendón".



FUENTE: Google Maps.

Elaborado por: Miyako Morales

3.2. Tipos de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo los siguientes tipos de investigación.

3.2.1. Investigación aplicada

Se orienta a generar un modelo cualitativo basado en inteligencia artificial generativa para el diseño de interfaces educativas, con la finalidad de aplicarlo en el desarrollo de un software educativo que facilite la enseñanza de trigonometría.

3.2.2. Investigación descriptiva

Busca describir las características, beneficios y limitaciones del modelo desarrollado, así como evaluar la usabilidad y la efectividad del software en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Método analítico-sintético

El método analítico-sintético es un proceso lógico de investigación que opera a través de dos fases dialécticas y complementarias. La fase analítica implica la decomposición de un objeto de estudio en sus elementos constituyentes para examinar sus particularidades de forma aislada. Por el contrario, la fase sintética recompone y articula dichos elementos, estableciendo sus interconexiones y relaciones jerárquicas para formular una nueva totalidad conceptual o una solución integral y coherente.

3.3.2. Método deductivo

El enfoque deductivo constituye el pilar lógico que estructura la transición de la teoría general a la validación empírica en esta investigación. Este método parte de premisas y conocimientos generales consolidados en la literatura científica para llegar a una aplicación específica y observable, permitiendo así verificar la validez del modelo propuesto en un contexto real.

3.4. Fuentes de recopilación de información

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon fuentes primarias y secundarias que, en conjunto, permitieron tanto la recolección de datos empíricos como la construcción de un sólido fundamento teórico.

Fuentes primarias, la obtención de datos primarios se realizó directamente con los estudiantes de Décimo Año de Educación General Básica, paralelos "C" y "D", de la Unidad Educativa Víctor Manuel Rendón. Asimismo, se contó con la participación de un panel de docentes en pedagogía y matemáticas, quienes constituyeron una fuente primaria cualificada para evaluar la rigurosidad disciplinar y la pertinencia didáctica del contenido generado por la inteligencia artificial.

Las fuentes secundarias, que sustentan el marco teórico del proyecto, fueron obtenidas de una revisión bibliográfica en repositorios académicos como Google Scholar, Scielo y IEEE Xplore. Se consultaron artículos científicos, libros e informes técnicos para fundamentar el diseño del modelo, comprender el estado del arte y contextualizar el problema.

3.5. Diseño de investigación

3.5.1. Diseño no experimental

El diseño no experimental de esta investigación se enfoca en observar y describir el modelo cualitativo en su contexto de aplicación natural, sin manipular deliberadamente las variables.

El propósito es analizar la interacción real de los estudiantes con la aplicación web “TrigTutor IA” para validar la pertinencia y utilidad del modelo conceptual propuesto.

3.5.2. Diseño transeccional o transversal

La investigación adopta un diseño transeccional para recolectar datos en un único momento durante la fase III la validación empírica. Mediante instrumentos como la escala de usabilidad del sistema, la investigación obtiene una instantánea de la percepción del estudiante para determinar la usabilidad de la aplicación "TrigTutor IA". Este enfoque permite una evaluación enfocada del artefacto tecnológico para validar así la pertinencia del modelo cualitativo.

3.5.3. Participantes

La población de estudio estuvo constituida por la totalidad de los estudiantes matriculados en el décimo año de Educación General Básica, paralelos "C" y "D", de la Escuela Víctor Manuel Rendón, durante el periodo lectivo 2025-2026. Según los registros oficiales de la institución, el universo abarcó a 70 estudiantes.

Para la selección de la muestra definitiva se aplicó un muestreo no probabilístico intencional. La muestra quedó conformada por $n=63$ participantes, quienes constituyeron el grupo efectivo que interactuó con la aplicación web "TrigTutor IA" y completó el proceso de validación.

Se excluyó del estudio a 7 estudiantes debido a que no aceptaron formar parte de la investigación. Por consiguiente, los instrumentos de evaluación fueron aplicados y respondidos exclusivamente por los 63 estudiantes seleccionados, garantizando la integridad y coherencia del análisis estadístico presentado.

La idoneidad de este grupo está fundamentada en dos criterios clave. Primero, representan con exactitud la población objetivo para la cual el artefacto tecnológico "TrigTutor IA" fue conceptualizado. Segundo, y de manera fundamental, el currículo nacional para el subnivel de educación general básica superior contempla explícitamente el estudio de la geometría y la medida, incluyendo destrezas como definir e identificar las relaciones trigonométricas en el triángulo rectángulo [42].

Adicionalmente a la muestra estudiantil, se seleccionó un panel de expertos ($n=2$) mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, basado en criterios de competencia profesional. Este grupo estuvo conformado por un docente de educación básica superior con experiencia en la enseñanza de matemáticas y un docente universitario especializado en modelación matemática.

3.5.4. Fases de la investigación

Fase I: Fundamentación y diseño conceptual. Esta fase inicial corresponde al primer objetivo específico y se centra en la formulación del modelo cualitativo. Se realizó una exhaustiva revisión de la literatura científica y estudios previos sobre la aplicación de inteligencia artificial generativa en la educación. A través de un proceso analítico-sintético, se identifican y estructuran los componentes clave que servirán como guía para el diseño de la interfaz educativa. El resultado de esta fase es un marco conceptual robusto que fundamenta el desarrollo tecnológico posterior.

Fase II: Desarrollo y construcción del artefacto tecnológico. Correspondiendo al segundo objetivo específico, esta fase traduce el modelo conceptual en un producto funcional, la aplicación web para la enseñanza de la trigonometría. El diseño se orienta a la implementación de una interfaz accesible y adaptativa que integre eficazmente la API de la inteligencia artificial generativa. Durante esta etapa, se realizan pruebas internas de funcionalidad y se verifica el cumplimiento de principios de usabilidad, para asegurar que la herramienta ofrezca una experiencia de usuario óptima antes de su validación con los estudiantes.

Fase III: Validación empírica y evaluación. La fase final aborda el tercer objetivo específico, determinar la usabilidad y utilidad del modelo propuesto. En esta etapa transeccional, se recopilan datos empíricos mediante la aplicación de instrumentos estandarizados, como los cuestionarios de usabilidad de sistemas, a una muestra de estudiantes de educación básica superior. El análisis de estos datos permite describir la experiencia del usuario y evaluar la efectividad del modelo cualitativo implementado. La retroalimentación obtenida es crucial para refinar la herramienta y validar la pertinencia de la solución tecnológica en un contexto de aprendizaje real.

Este diseño de investigación secuencial y no experimental es el más adecuado para el problema planteado, ya que permite, en primer lugar, construir una solución informada por la teoría, en segundo lugar, materializarla en un artefacto tecnológico y, finalmente, evaluarla sistemáticamente para generar conclusiones válidas sobre su aplicabilidad y efectividad.

3.6. Instrumentos de investigación

Para la consecución de los objetivos planteados, fue necesario emplear instrumentos específicos para cada fase de la investigación, garantizando la recolección de información y el desarrollo metodológico del proyecto. Para el primer objetivo, enfocado en la formulación del modelo cualitativo, el instrumento principal fue la revisión sistemática de literatura. Este proceso se apoyó en el uso de bases de datos académicas y repositorios científicos, aplicando criterios de búsqueda, inclusión y exclusión para identificar, seleccionar y analizar de manera rigurosa la producción científica relevante sobre inteligencia artificial generativa, diseño de interfaces y estrategias pedagógicas en la educación matemática.

En correspondencia con el segundo objetivo, la construcción de la aplicación web "TrigTutor IA" requirió el uso de herramientas de desarrollo de software. Se utilizó el lenguaje de programación JavaScript junto con sus librerías y frameworks para la construcción de la interfaz. Como motor principal del sistema, se integró la interfaz de programación de aplicaciones API de gemini, la cual funcionó como el instrumento tecnológico para dotar a la aplicación de capacidades de razonamiento y generación de contenido adaptativo. Estas herramientas en su conjunto permitieron materializar el modelo cualitativo en un artefacto funcional y evaluable.

Para evaluar la viabilidad de la generación autónoma de contenido, se diseñó y aplicó un instrumento de validación dirigido a docentes. Este cuestionario, estructurado con una escala de likert de 5 puntos y una pregunta abierta, midió dimensiones críticas como la precisión matemática de las definiciones, la coherencia lógica en la resolución de problemas y la idoneidad de las estrategias de andamiaje. El propósito de este instrumento fue verificar si el modelo cualitativo logra disciplinar a la IA lo suficiente como para delegarle la producción de material didáctico con un nivel de riesgo controlado.

Finalmente, para abordar el tercer objetivo, se seleccionó el cuestionario de escala de usabilidad del sistema como el instrumento para la recolección de datos empíricos. El SUS es una herramienta estandarizada, compuesta por diez ítems con una escala de tipo likert, diseñada para medir de manera cuantitativa la percepción subjetiva de la usabilidad de un sistema por parte de los usuarios. Su aplicación permitió obtener métricas fiables sobre la facilidad de uso, efectividad y satisfacción generada por la aplicación "TrigTutor IA", validando así la utilidad del modelo propuesto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

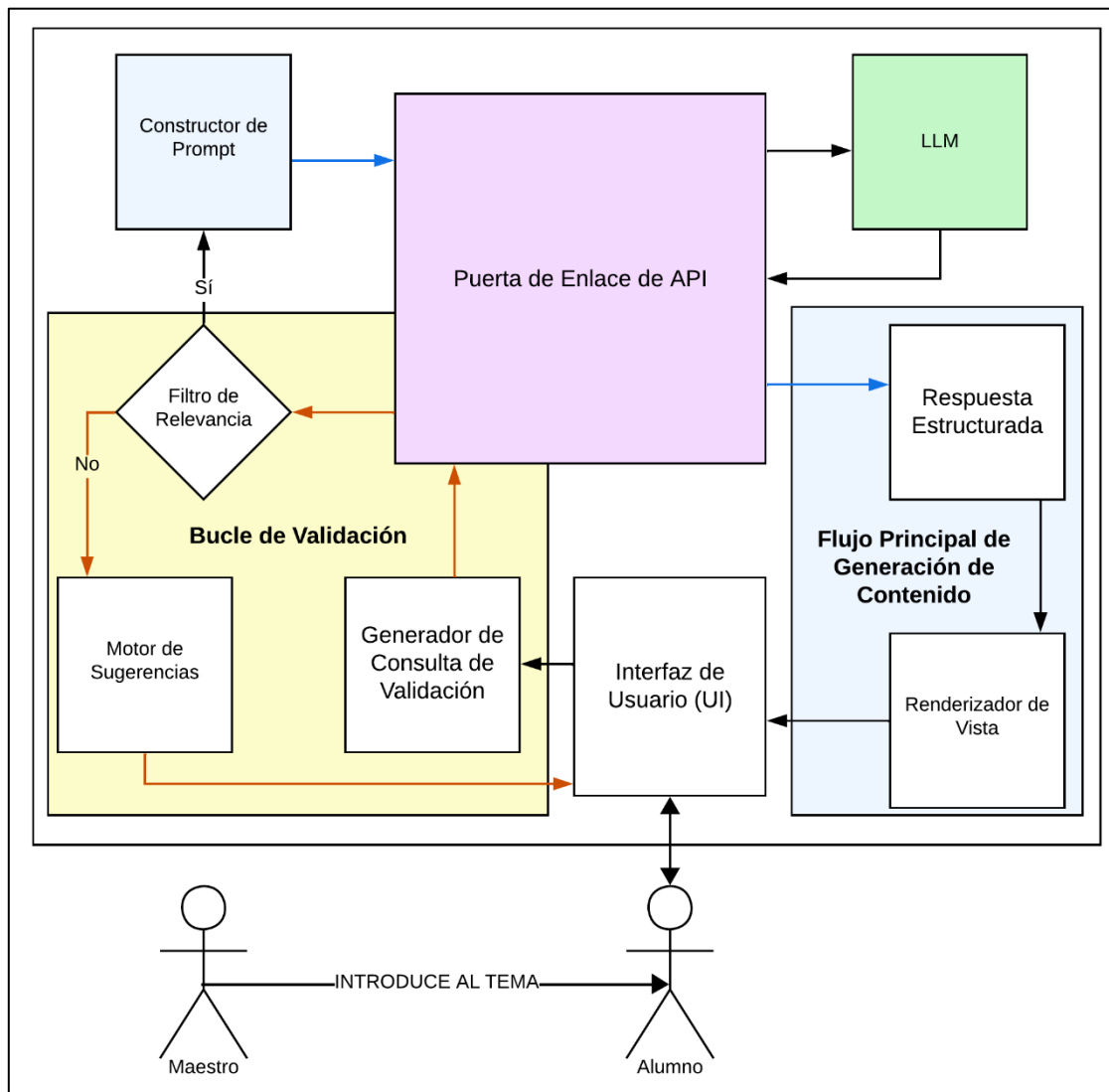
4.1. Estructura y funcionalidad del modelo cualitativo para el diseño de interfaces educativas propuesto

4.1.1. Representación del modelo cualitativo para interfaces educativas con IA

Este capítulo presenta los resultados correspondientes al primer objetivo específico de la investigación, el cual se centró en proponer un modelo que ilustre la manera de consumir una API de una inteligencia artificial generativa para la construcción de software educativo a la medida de los estudiantes. Como producto de esta fase, un modelo cualitativo fue establecido como una arquitectura de referencia y un flujo de operaciones sistemático, cuyo propósito fue estandarizar y estructurar la interacción entre el usuario y el sistema de IA para asegurar un proceso controlado, pedagógicamente relevante y coherente.

Figura 2.

Representación del modelo cualitativo para el diseño de interfaces educativas con IA.



Elaborado por: Miyako Morales

La concepción de este modelo está articulada sobre la síntesis de tres componentes fundamentales. En primer lugar, se definió que el modelo requería de una pedagogía adecuada para gobernar la estructura y la secuencia de la experiencia de aprendizaje del usuario [43]. En segundo lugar, para dirigir el comportamiento de la tecnología subyacente, fue necesario aplicar una metodología de ingeniería de instrucciones robusta, capaz de traducir las necesidades pedagógicas en instrucciones precisas y controladas [32]. Finalmente, la inteligencia artificial generativa es la pieza tecnológica clave del modelo, responsable de procesar dichas instrucciones para producir tanto el contenido educativo como la retroalimentación personalizada, elementos indispensables para facilitar un aprendizaje adaptativo y significativo.

La arquitectura del modelo está estructurada mediante la segmentación en bloques funcionales que delimitan los procesos lógicos del sistema. Esta organización por zonas permite distinguir claramente entre las operaciones de verificación preliminar y los procesos de producción de material educativo, los cuales convergen en un núcleo tecnológico.

El subsistema identificado como bucle de validación opera como un mecanismo de control inicial y filtro de pertinencia. Esta zona tiene como finalidad exclusiva verificar la viabilidad de la consulta ingresada por el usuario antes de iniciar la generación de contenido.

Por su parte, el área designada como flujo principal de generación de contenido representa la ruta crítica de producción de contenido educativo. Este circuito se activa únicamente tras la superación exitosa de los protocolos del bucle de validación.

Articulando estas dos zonas funcionales, se encuentran los componentes centrales compartidos, la puerta de enlace de API y el y el modelo de lenguaje extenso. Estos elementos actúan como el motor de inteligencia artificial del sistema, sirviendo simultáneamente a las solicitudes de validación y a la generación de contenido

4.1.2. Arquitectura y componentes del modelo

La arquitectura del modelo cualitativo está estructurada a partir de un conjunto de componentes, cada uno con una función específica dentro del flujo de interacción. El diseño de este sistema tiene como fundamento los conceptos teóricos definidos en el **CAPÍTULO II**, asegurando que cada pieza cumpliera un rol técnico, y que también contribuyera a un fin pedagógico. A continuación, se detalla la función de cada componente, tal como se ilustra en la **Figura 2**.

4.1.2.1. Punto de interacción: El usuario y la interfaz.

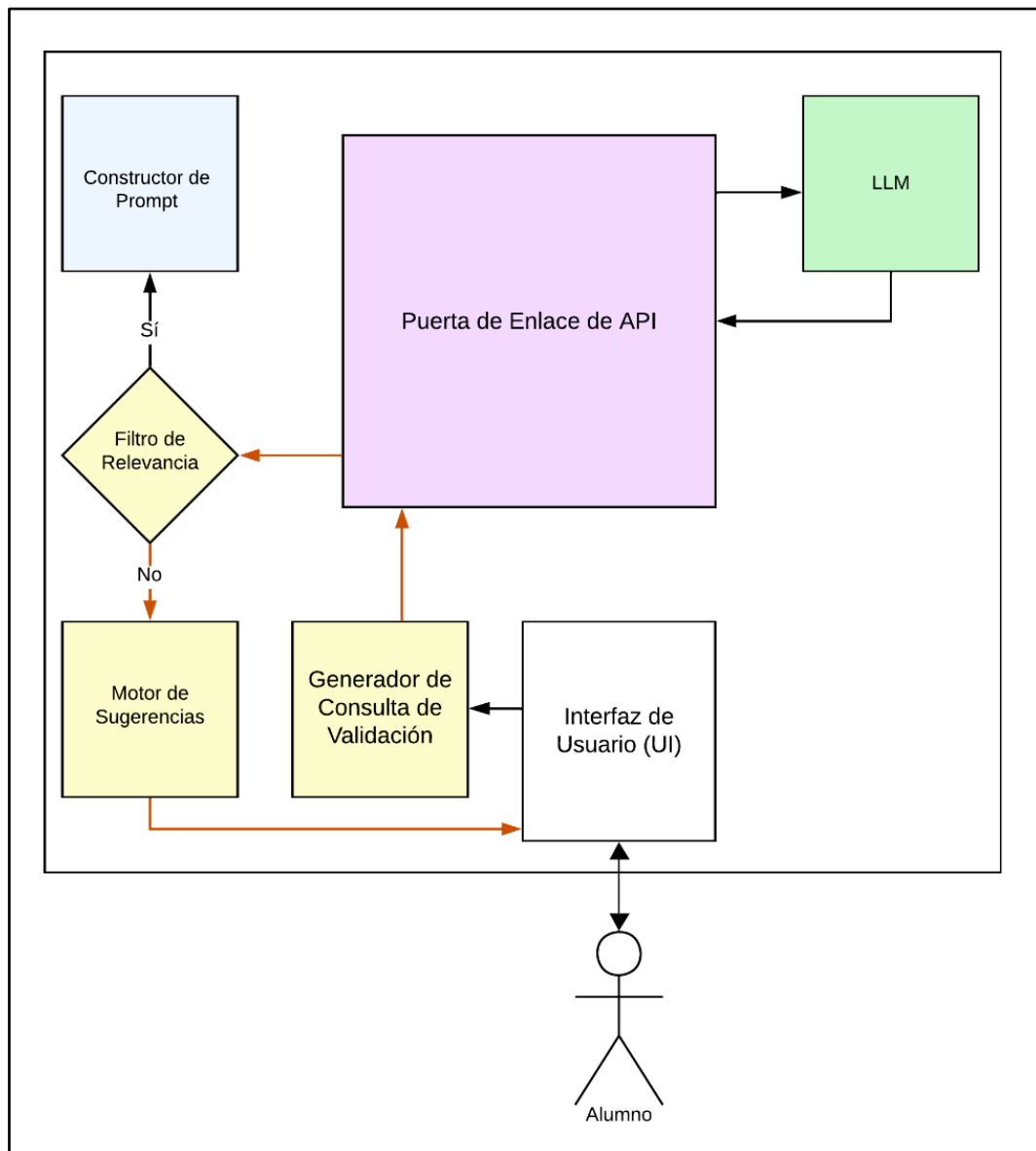
El punto de interacción del modelo lo constituye la interfaz de usuario, funcionando como el portal de acceso y el canal principal de comunicación entre el estudiante y el sistema. Este componente es responsable tanto de capturar las consultas del usuario, expresadas en lenguaje natural, como de presentar visualmente las respuestas generadas. Su concepción está fundamentada en los principios del diseño de interfaces educativas, buscando que la presentación del contenido sea siempre ordenada, sencilla y fácil de usar. El objetivo de este enfoque es optimizar la experiencia del estudiante y, fundamentalmente, reducir la carga cognitiva superflua, transformando la interfaz en un entorno de aprendizaje claro y accesible [44].

4.1.2.2. Mecanismo de control: El bucle de validación.

Para garantizar la integridad académica y la relevancia del contenido, el modelo implementa un mecanismo de control preventivo, el bucle de validación visualizado en la **Figura 3**. Este sistema actúa como un primer filtro inteligente, cuya función principal es asegurar que únicamente las consultas pertinentes al dominio temático establecido sean procesadas para la generación de contenido.

El proceso de validación inicia en el momento en que un usuario ingresa su consulta en la interfaz. En lugar de procesar directamente esta entrada, la consulta es interceptada por el generador de consulta de validación. Este componente especializado construye una instrucción específica [45], diseñado con la única finalidad de interrogar al LLM sobre la pertinencia del tópico propuesto. Esta consulta focalizada es enviada a través de la puerta de enlace de API hacia el LLM, el cual devuelve una respuesta estructurada con un indicador claro sobre la relevancia del tema.

Figura 3.
Elementos del bucle de validación.



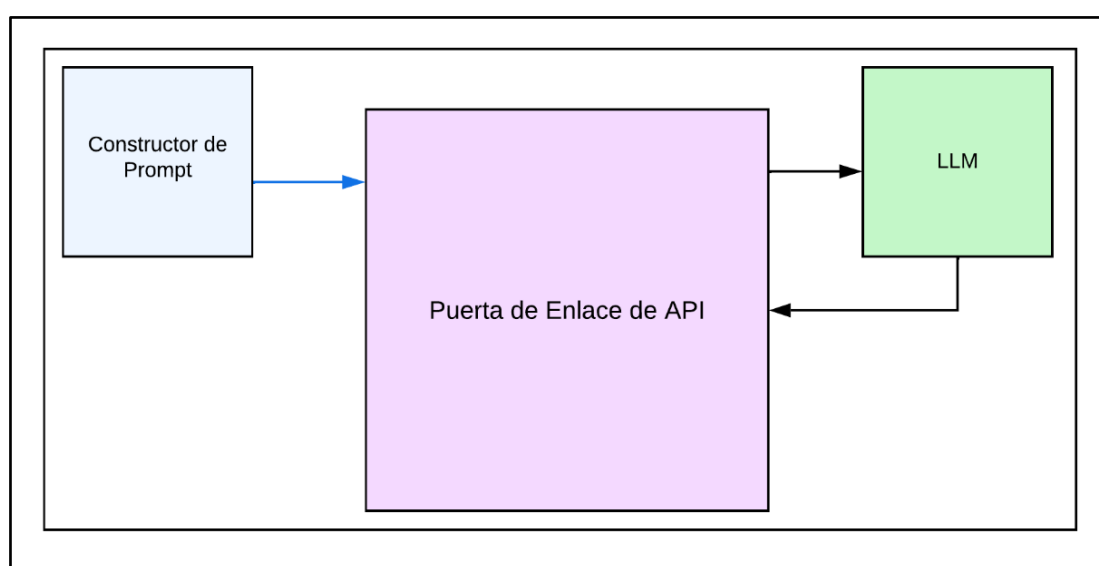
Elaborado por: Miyako Morales

Dicha respuesta es recibida por el filtro de relevancia, que actúa como el núcleo lógico del bucle. Su función es interpretar de manera programática la respuesta del LLM y ejecutar la bifurcación del flujo de manera determinista. Si la respuesta confirma la pertinencia del tema, el filtro autoriza el paso a la siguiente fase del modelo. En caso contrario, el flujo es desviado hacia el motor de sugerencias, componente que se activa para proporcionar al usuario una retroalimentación constructiva y proponerle temas alternativos, funcionando como un andamio conversacional que lo guía de vuelta al dominio temático establecido [46].

4.1.2.3. Núcleo de generación: La interacción con la IA.

Una vez superada la fase de validación, el flujo de interacción avanza hacia el núcleo de generación, cuyo componente central es el constructor de instrucciones que se visualiza en la **Figura 4**. El diseño de este núcleo parte de la premisa fundamental de que la consulta directa de un usuario en lenguaje natural es insuficiente para garantizar un resultado pedagógicamente válido y estructuralmente consistente. Para mitigar riesgos como el sesgo algorítmico y la generación de contenido irrelevante, el modelo interpone este componente como un traductor programático entre la intención validada del estudiante y la capacidad creativa del LLM.

Figura 4.
Núcleo de Generación.



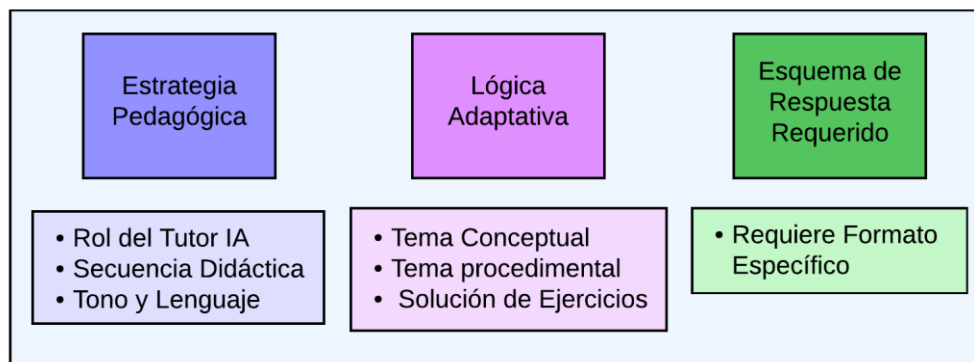
Elaborado por: Miyako Morales

Es en este componente donde la ingeniería de instrucciones es la disciplina central del modelo, transformando la intención pedagógica en una instrucción ejecutable por la inteligencia artificial. La tarea del constructor de instrucciones va más allá de simplemente reenviar el tema validado por el usuario, su función es inyectar dicho tema dentro de una plantilla de instrucción robusta y predefinida. Esta plantilla es el núcleo donde se codifica la estrategia pedagógica completa, dictando con precisión las reglas, el formato y, fundamentalmente, la estructura didáctica del contenido generado.

La instrucción controla la forma en que el contenido es presentado. El rol que debe adoptar la IA es definido junto con el marco didáctico que debe seguir cada lección. Esto asegura que el contenido se organice de una manera lógica y progresiva, diseñada para ser funcional y facilitar una auténtica asimilación del conocimiento por parte del usuario. De esta manera, la instrucción garantiza que, sin importar el tema, el contenido generado sea siempre coherente y siga un camino de aprendizaje eficaz.

Además, el modelo está diseñado para ser dinámico y adaptativo. Dependiendo de la naturaleza del tema tratado, la instrucción puede ser enriquecida para solicitar elementos específicos. Para tópicos de índole conceptual, la instrucción se enfocará en generar explicaciones teóricas. En cambio, para temas de carácter procedimental o aplicado, la instrucción está estructurada para solicitar la teoría y también para demandar la creación de ejercicios de práctica, especificando que estos deben incluir mecanismos de evaluación y retroalimentación detallada. Es en este componente donde se personaliza el tipo de enseñanza y, de manera crítica, se exige un esquema de respuesta predefinido esperado por el modelo, garantizando así la fiabilidad y consistencia del sistema [47].

Figura 5.
Constructor de instrucciones.



Elaborado por: Miyako Morales

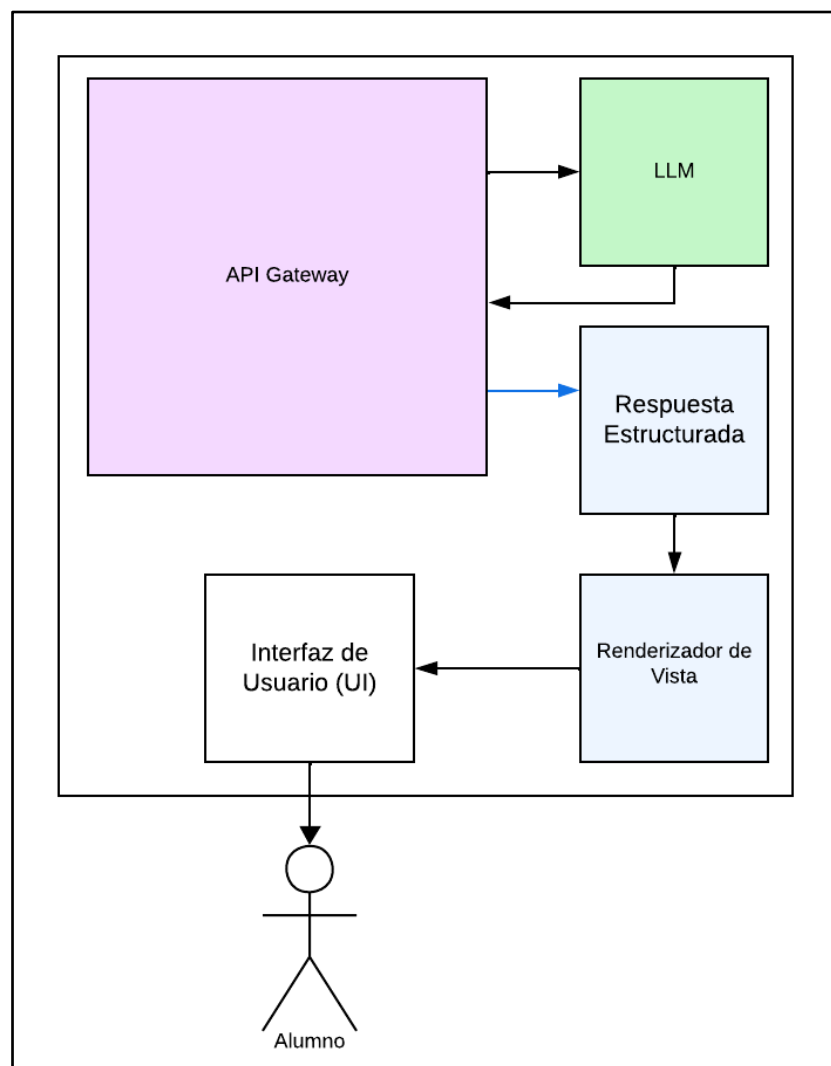
Una vez ensamblada esta instrucción programática y detallada, se envía a través de la puerta de enlace de API. Este actúa como el puente de comunicación estandarizado que, como define la teoría, permite diseñar e integrar el software de las aplicaciones, conectando la lógica del modelo con el servicio externo. Finalmente, la instrucción llega al LLM, el motor de inteligencia artificial generativa, que tiene la tarea de producir el contenido solicitado, a partir de un conjunto de directrices claras y precisas.

4.1.2.4. Procesamiento de salida: La presentación del contenido.

La fase final del flujo está enfocada en la correcta presentación de la información generada, un proceso que materializa uno de los aspectos más distintivos del modelo. La respuesta estructurada, recibida desde la API, es el elemento central de esta etapa. Su formato predefinido funciona como un contrato de datos formal, tal como se detalla en las respuestas estructuradas esperadas (ver ANEXO 3).

Este contrato establece una separación de responsabilidades fundamental, la tarea del LLM es exclusivamente el llenado de información dentro de este esquema, mientras que la tarea de la aplicación es su interpretación y visualización.

Figura 6.
Procesamiento de Salida.



Elaborado por: Miyako Morales

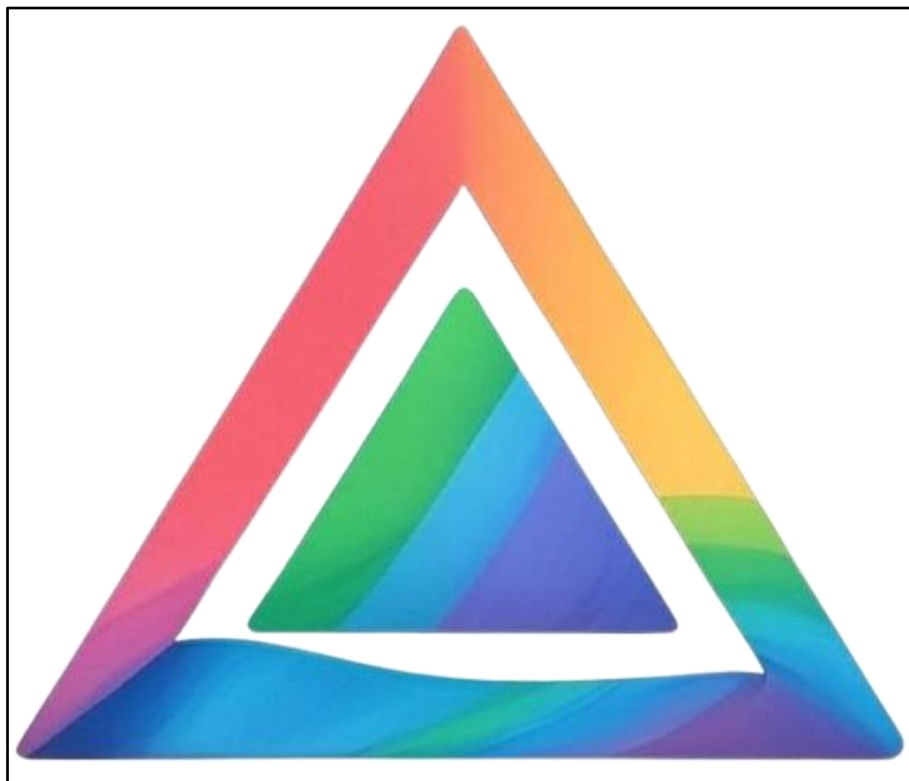
Esta división del trabajo es lo que permite que el sistema sea robusto y modular. Una vez recibida la respuesta, el componente renderizador de vista es el encargado de procesar estos datos estructurados. Su función es traducir el contenido crudo, organizado según el contrato, en una lección visualmente coherente y pedagógicamente efectiva. Este último paso transforma los datos en una experiencia de aprendizaje organizada y de fácil consumo para el estudiante, completando el ciclo de interacción del modelo.

4.2. Construcción de la aplicación web “TrigTutor IA”

En cumplimiento del segundo objetivo específico, el desarrollo de la aplicación web "TrigTutor IA" fue completada, la cual sirve como materialización del modelo cualitativo propuesto en esta investigación. El código fuente íntegro de la herramienta está disponible para consulta y auditoría académica en el repositorio público de GitHub: <https://github.com/miyashiromc/TrigonometrIA.git>. Es importante destacar que el enlace de acceso a la aplicación web funcional está debidamente documentado en el archivo README.md del mencionado repositorio

Figura 7.

Logo de la aplicación web: TrigTutor IA.



Elaborado por: Miyako Morales

4.2.1. Metodología de desarrollo ágil scrum

Para la construcción del artefacto tecnológico "TrigTutor IA", el marco de trabajo ágil scrum fue adoptado. Esta metodología fue seleccionada por su naturaleza iterativa e incremental, la cual resultó ideal para un proyecto de investigación aplicada con un alto componente de incertidumbre, como la integración de una inteligencia artificial generativa en una interfaz educativa. La implementación de scrum ofreció ventajas determinantes para el éxito del desarrollo.

La adaptabilidad fue un pilar fundamental. El trabajo con una API de IA generativa implica una exploración constante, donde las respuestas del modelo pueden variar y requerir ajustes continuos. Scrum permitió gestionar esta variabilidad mediante ciclos cortos de desarrollo, en los que se pudieron refinar y ajustar tanto las funcionalidades de la aplicación como la ingeniería de instrucciones de manera sistemática, asegurando que el comportamiento de la IA se alinea progresivamente con los objetivos pedagógicos [48].

Tabla 1.

Requisitos curriculares para el desarrollo de "TrigTutor IA".

CÓDIGO DESTREZA CON CRITERIO DE DESEMPEÑO

M.4.2.15.	Aplicar el teorema de Pitágoras en la resolución de triángulos rectángulos.
M.4.2.16.	Definir e identificar las relaciones trigonométricas en el triángulo rectángulo para resolver numéricamente triángulos rectángulos.
M.4.2.17.	Resolver problemas que involucren triángulos rectángulos en contextos reales, e interpretar y juzgar la validez de las soluciones obtenidas dentro del contexto del problema.

Fuente: Ministerio de educación, deporte y cultura (2025). Currículo priorizado con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales.

Elaborado por: Miyako Morales.

Partiendo de estos requisitos, la implementación de scrum se adaptó a un contexto de desarrollo individual, conservando sus artefactos y eventos para gestionar la complejidad y asegurar una entrega de valor continua y alineada con los fines educativos. La adaptabilidad del marco permitió refinar sistemáticamente la ingeniería de instrucciones y el comportamiento de la IA, garantizando que el producto final respondiera de manera efectiva a estas directrices curriculares.

Asimismo, el marco de trabajo facilitó la entrega de valor temprana. Desde las primeras fases, fue posible construir un prototipo funcional que validó la aplicabilidad del modelo cualitativo propuesto. Este enfoque permitió verificar la viabilidad de la conexión con la API y la lógica de la interfaz, obteniendo retroalimentación tangible sobre el modelo teórico sin necesidad de esperar a la finalización completa del software.

Finalmente, scrum promovió un enfoque continuo en la calidad. Cada iteración culminó con un incremento funcional del producto. Esta revisión cíclica garantizó que tanto la interfaz de usuario como el contenido generado por la IA cumplieran con los estándares de calidad requeridos para una herramienta educativa confiable.

4.2.2. Fases de construcción de desarrollo a través de iteraciones

El desarrollo de la aplicación web "TrigTutor IA" se ejecutó como una secuencia de ciclos de trabajo definidos, o iteraciones, cada uno enfocado en la entrega de un incremento funcional y evaluable del producto. Este enfoque iterativo permitió materializar de manera progresiva el modelo cualitativo y la estrategia de andamiaje pedagógico.

4.2.2.1. Iteración 1: Cimientos y conectividad del modelo.

El objetivo principal de esta iteración inicial fue establecer la arquitectura base del proyecto, asegurar la conectividad con la API de gemini y validar el bucle de validación del modelo cualitativo. las tareas desarrolladas incluyeron la configuración del entorno de desarrollo con react y tailwind CSS, la implementación de la interfaz de chat para la entrada de usuario, y el desarrollo del generador de consulta de validación junto con el filtro de relevancia para garantizar la pertinencia temática de las consultas. Como resultado de este ciclo, se obtuvo un prototipo funcional capaz de recibir una consulta, validarla con la inteligencia artificial y ofrecer sugerencias, demostrando así la viabilidad del flujo de control inicial del modelo.

4.2.2.2. Iteración 2: Generación de contenido y andamiaje inicial.

La segunda iteración se centró en implementar la generación de contenido educativo estructurado, materializando el primer nivel de la estrategia de andamiaje pedagógico el soporte máximo. Las tareas clave consistieron en el diseño e implementación del constructor de instrucciones para solicitar contenido en un formato JSON predefinido, la creación de la vista "contenido" y el desarrollo del renderizador de vista para transformar dicho JSON en una lección formateada y legible. Al finalizar esta iteración, la aplicación era capaz de generar y presentar lecciones teóricas completas, siguiendo fielmente la estructura pedagógica definida en el modelo.

4.2.2.3. Iteración 3: Implementación de la práctica guiada.

El objetivo de esta iteración fue desarrollar los módulos de práctica interactiva con retroalimentación inmediata, correspondientes al soporte medio del andamiaje. Para ello, se creó el módulo "ejercicios", que consume el cuestionario generado por la inteligencia artificial. Se implementó la lógica necesaria para evaluar las respuestas del usuario y mostrar de manera instantánea la retroalimentación y las explicaciones detalladas. Asimismo, se desarrolló una función de chat de asistencia contingente, permitiendo al estudiante resolver dudas específicas sobre un ejercicio. El resultado fue un entorno de práctica funcional, donde el estudiante puede aplicar los conceptos teóricos aprendidos con el apoyo constante de la IA.

4.2.2.4. Iteración 4: Autonomía del estudiante y módulos de soporte.

La última iteración se enfocó en completar el ciclo de andamiaje, fomentando la práctica autónoma del estudiante con el soporte mínimo, y en añadir herramientas de apoyo complementarias. Las tareas desarrolladas fueron la implementación del módulo "prueba tus conocimientos", que proporciona retroalimentación únicamente al final del cuestionario, la creación del módulo estático de "recursos", que contiene información de consulta rápida como las identidades trigonométricas, y la implementación del panel de "estadísticas", diseñado para promover la metacognición del estudiante sobre su propio progreso. Al concluir este ciclo, se obtuvo una aplicación web completa y robusta, que cumple con todos los requisitos funcionales y pedagógicos definidos en el **ANEXO 1**.

4.2.3. Producto final: Aplicación web TrigTutor IA

El resultado tangible del proceso de desarrollo, guiado por la metodología scrum, es la aplicación web funcional "TrigTutor IA". Este artefacto tecnológico cumple con los requisitos definidos en la pila de producto y también sirve como la materialización práctica y la validación del modelo cualitativo propuesto en esta investigación. Su propósito es ofrecer a los estudiantes de educación básica superior una herramienta de apoyo para el aprendizaje de la trigonometría, diseñada para ser interactiva, adaptativa y pedagógicamente sólida.

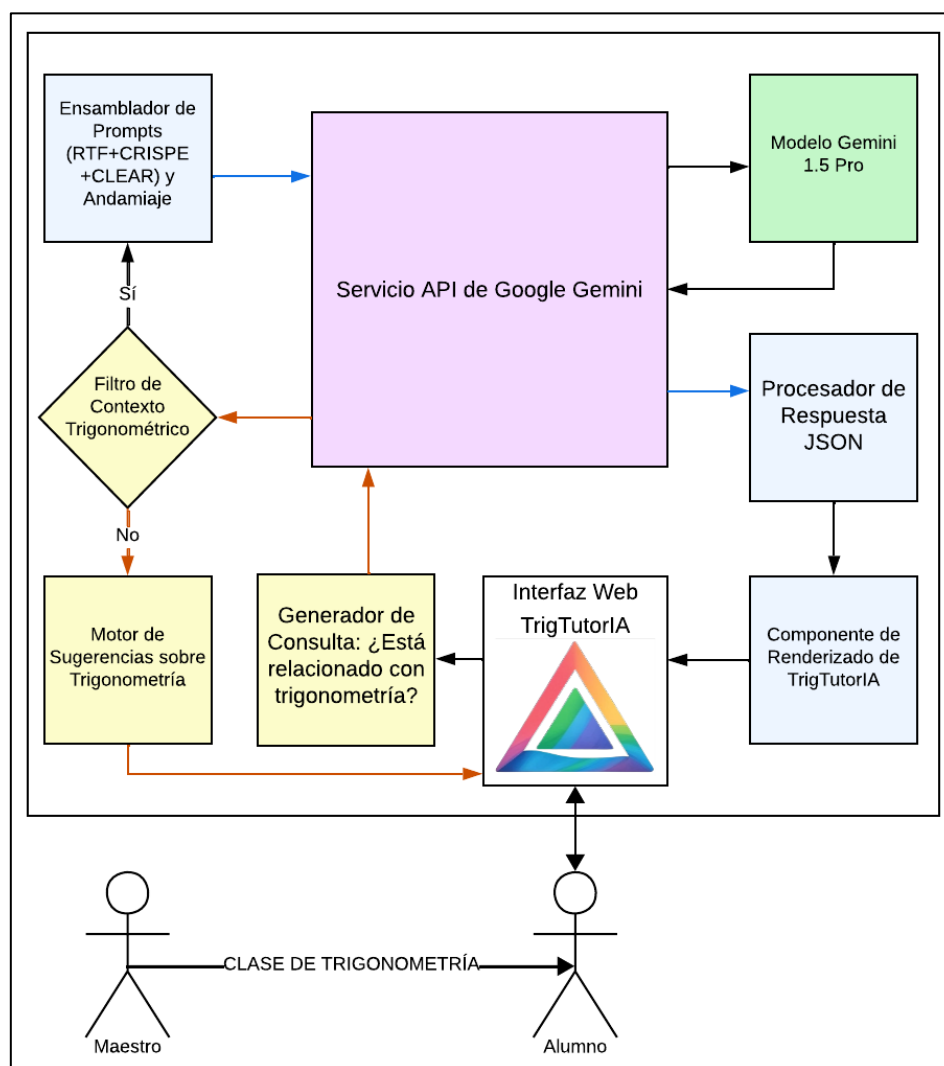
La aplicación implementa de manera rigurosa el flujo de interacción definido en el modelo cualitativo. Cada módulo y funcionalidad, desarrollado a lo largo de las iteraciones, se conecta directamente con un componente del modelo teórico. La interfaz de chat actúa como el principal punto de interacción con el usuario, donde el bucle de validación asegura la pertinencia de las consultas antes de invocar el núcleo de generación de contenido.

Las lecciones teóricas, los ejercicios interactivos y los cuestionarios son el producto del constructor de instrucciones y el renderizador de vista, que transforman la respuesta estructurada de la API de gemini en una experiencia de aprendizaje coherente. De esta manera, "TrigTutor IA" se constituye como la evidencia práctica de que el modelo cualitativo propuesto puede ser utilizado para construir herramientas educativas que integran la inteligencia artificial de una manera controlada, segura y eficaz, cumpliendo así con el segundo objetivo específico de esta investigación.

4.2.3.1. Arquitectura tecnológica y herramientas utilizadas.

La materialización de la aplicación web "TrigTutor IA" se apoyó en un conjunto de tecnologías y herramientas seleccionadas para garantizar un desarrollo robusto, una experiencia de usuario fluida y la persistencia de los datos del usuario. La interfaz de usuario fue construida utilizando react, una librería de JavaScript que permite la creación de componentes interactivos, mientras que para el diseño visual se empleó tailwind css. El núcleo de inteligencia artificial se implementó mediante el consumo de la API de google gemini, específicamente el modelo gemini-2.5-flash. Para la gestión de datos de usuario, perfiles y estadísticas, se utilizó firestore, una base de datos NoSQL flexible y escalable. Para la correcta presentación del contenido educativo, se integraron las librerías marked.js y highlight.js. El ciclo de desarrollo fue gestionado con git y github, y el despliegue de la aplicación se realizó a través de firebase hosting, asegurando una distribución global y un rendimiento óptimo.

Figura 8.
Instancia del modelo en la aplicación TrigTutorIA.



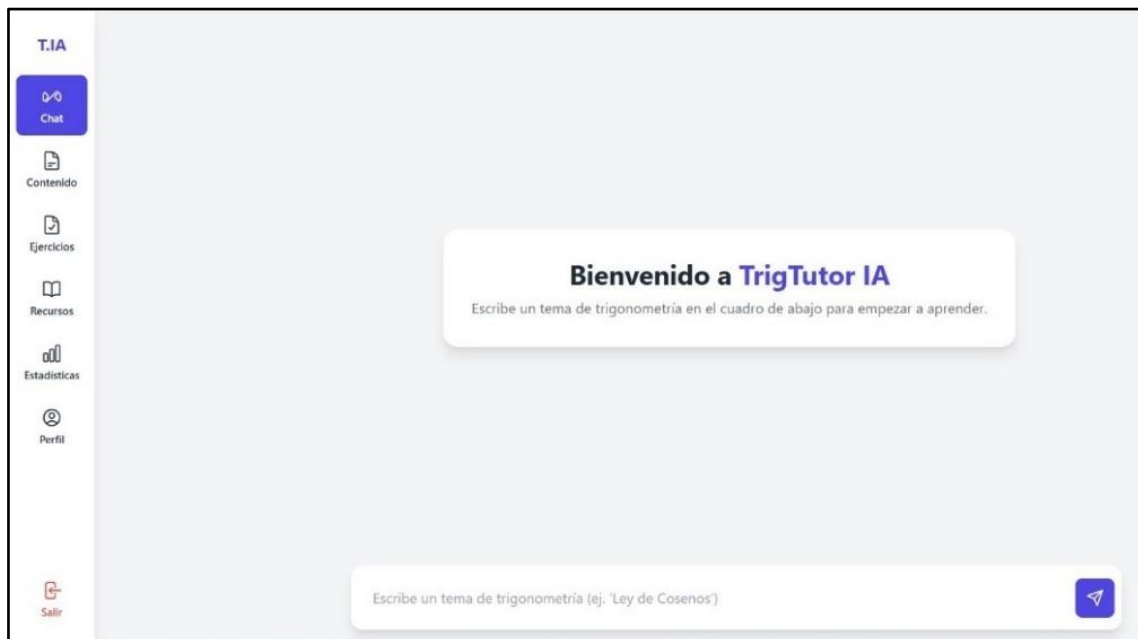
Elaborado por: Miyako Morales

4.2.3.2. Aplicación del flujo de interacción del modelo cualitativo.

La funcionalidad de la aplicación sigue de manera rigurosa el flujo de operaciones definido en el modelo cualitativo, tal como se esquematizó en la **Figura 8**. Este proceso sistemático asegura que la interacción, desde la consulta inicial del usuario hasta la presentación del contenido, sea controlada, relevante y pedagógicamente estructurada.

El punto de partida de este flujo se evidencia en la interfaz de bienvenida del módulo de chat véase **Figura 9**. El diseño minimalista de esta pantalla cumple una función deliberada, centrar la atención del usuario en la acción principal de entrada del usuario. Es en este campo donde se captura la consulta inicial en lenguaje natural, constituyendo el primer paso fundamental del modelo de interacción.

Figura 9.
Interfaz de bienvenida y entrada de usuario.

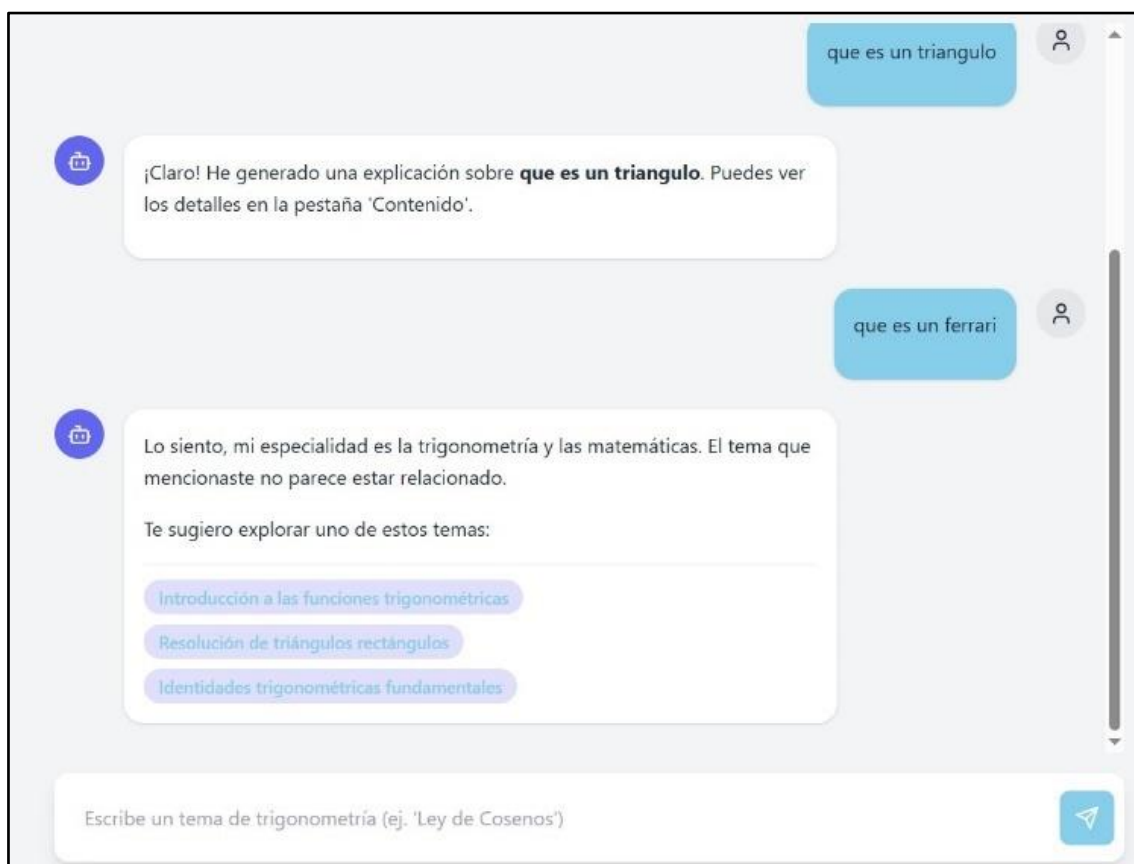


Elaborado por: Miyako Morales

Una vez que el usuario ingresa una consulta, el sistema ejecuta la fase de validación, un filtro inteligente crucial para la integridad del modelo. Como se observa en la **Figura 10**, cuando se introduce un tema no relacionado con el dominio académico "que es un ferrari", la consulta es cortésmente rechazada. En lugar de generar un error, el sistema propone temas pertinentes, demostrando la robustez del modelo para mantener el enfoque pedagógico y guiar al usuario. Este paso evita el consumo innecesario de recursos de la API principal, procesando únicamente las solicitudes que se alinean con los objetivos de aprendizaje.

Figura 10.

Validación de relevancia del tema en la interfaz de chat.



Elaborado por: Miyako Morales

Tras una validación exitosa, el flujo culmina con la generación y presentación del material educativo en la **Figura II**. En esta etapa, el tema validado se integra en una instrucción estructurada, construida según la metodología de ingeniería de instrucciones, y se envía a la API de gemini. La respuesta, recibida como un objeto JSON predefinido, es deserializada y renderizada por la aplicación. Este proceso transforma los datos estructurados de la IA en una lección visualmente organizada y de fácil consumo, completando el ciclo de interacción de manera efectiva y presentando al estudiante el contenido solicitado.

Figura 11.

Renderización del contenido generado por la IA en la vista de contenido.



Elaborado por: Miyako Morales

4.2.3.3. Implementación del andamiaje pedagógico.

La aplicación TrigTutor IA materializa la estrategia de andamiaje pedagógico a través de una progresión estructurada en sus distintos módulos. La interfaz fue diseñada para guiar al estudiante desde una fase de soporte máximo, donde se presenta el conocimiento teórico, hacia una fase de soporte mínimo, donde se fomenta la práctica autónoma. Este diseño asegura que el apoyo se retire gradualmente a medida que el estudiante gana competencia, en consonancia con los principios del modelo.

El primer nivel del andamiaje, correspondiente al soporte máximo, se implementa en la vista de contenido. Para asegurar una base teórica sólida, el modelo instruye a la inteligencia artificial, mediante una instrucción estructurada, a generar una lección completa que sigue una secuencia pedagógica predefinida, como se esquematiza en la **Figura 12**. Esta estructura que abarca desde la introducción conceptual y las fórmulas, hasta un ejemplo resuelto y sus aplicaciones prácticas garantiza que el estudiante reciba una explicación coherente y pertinente.

Figura 12.

Estructura pedagógica del contenido en el nivel de soporte máximo.



Elaborado por: Miyako Morales

Una vez asimilada la teoría, el estudiante avanza al segundo nivel del andamiaje, la práctica guiada. La sección de ejercicios representa esta fase de soporte medio. Como se detalla en la **Figura 13**, el nivel de apoyo se reduce, se espera que el estudiante aplique el conocimiento para resolver un problema por sí mismo. Sin embargo, el andamio permanece a través de la retroalimentación inmediata y detallada que la IA proporciona después de cada respuesta. Este mecanismo de corrección instantánea es crucial para reforzar el aprendizaje y corregir concepciones erróneas en tiempo real.

Figura 13.

Práctica guiada con retroalimentación inmediata.

Una escalera de 10 metros de longitud está apoyada en una pared vertical. Si la base de la escalera se encuentra a 6 metros de la pared, ¿a qué altura del suelo llega la parte superior de la escalera?

A. 4 metros

B. 8 metros

C. 12 metros

D. 16 metros

Explicación:

El Teorema de Pitágoras establece que en un triángulo rectángulo, el cuadrado de la hipotenusa (el lado más largo, en este caso la escalera) es igual a la suma de los cuadrados de los otros dos lados (los catetos). Aquí, la escalera (hipotenusa) mide 10 m, y la distancia de su base a la pared (un cateto) es 6 m. Necesitamos encontrar la altura en la pared (el otro cateto). La fórmula es $a^2 + b^2 = c^2$. Sustituyendo: $6^2 + b^2 = 10^2$. Esto es $36 + b^2 = 100$. Restamos 36 de ambos lados: $b^2 = 100 - 36$, lo que da $b^2 = 64$. Para encontrar b, tomamos la raíz cuadrada de 64, que es 8. Por lo tanto, la escalera alcanza una altura de 8 metros en la pared.

Elaborado por: Miyako Morales

Dentro de este nivel de práctica, el modelo implementa el principio de asistencia contingente, una característica clave del andamiaje. La función "¿Tienes dudas? ¡Pregúntame!", visible en la **Figura 14**, demuestra que el soporte es adaptable. El sistema no solo entrega la solución, sino que ofrece un canal de diálogo para que el estudiante pueda solicitar clarificaciones adicionales solo si lo considera necesario. Esta funcionalidad permite al estudiante empezar a construir su autonomía, pero con la seguridad de tener una red de apoyo disponible, retirando el andamio de manera flexible.

Figura 14.

Asistencia contingente como parte del andamiaje en la práctica guiada

Explicación:

El Teorema de Pitágoras establece que en un triángulo rectángulo, el cuadrado de la hipotenusa (el lado más largo, en este caso la escalera) es igual a la suma de los cuadrados de los otros dos lados (los catetos). Aquí, la escalera (hipotenusa) mide 10 m, y la distancia de su base a la pared (un cateto) es 6 m. Necesitamos encontrar la altura en la pared (el otro cateto). La fórmula es $a^2 + b^2 = c^2$. Sustituyendo: $6^2 + b^2 = 10^2$. Esto es $36 + b^2 = 100$. Restamos 36 de ambos lados: $b^2 = 100 - 36$, lo que da $b^2 = 64$. Para encontrar b, tomamos la raíz cuadrada de 64, que es 8. Por lo tanto, la escalera alcanza una altura de 8 metros en la pared.

¿Tienes dudas? ¡Pregúntame!

Escribe una pregunta sobre este ejercicio en el cuadro de abajo.

Ej: ¿Por qué se usa el seno aquí?



Elaborado por: Miyako Morales

La ingeniería de instrucciones del modelo cualitativo se diseñó para asegurar una alineación con los requerimientos curriculares fundamentales establecidos para la asignatura de trigonometría. En este sentido, la sección de ejercicios de la aplicación web 'TrigTutor IA' integra módulos temáticos específicos y altamente priorizados. Entre estos módulos, se enfatiza la práctica y el dominio del teorema de Pitágoras y la aplicación de las identidades trigonométricas básicas. Esta selección intencional garantiza que la interfaz aborde los contenidos mínimos exigidos por el currículo educativo, constituyendo un punto de partida sólido para el andamiaje pedagógico adaptativo generado por la IA.

Finalmente, el tercer nivel del andamiaje, enfocado en el soporte mínimo, se materializa en la sección prueba tus conocimientos. Como se observa en la **Figura 15**, la diferencia fundamental con la práctica guiada es que la retroalimentación se proporciona al final del cuestionario, no después de cada pregunta. Este diseño simula un entorno de evaluación que exige al estudiante depender de su propio conocimiento para responder. Al retirar el apoyo inmediato, se fomenta la consolidación del aprendizaje y se evalúa la capacidad del estudiante para operar de forma autónoma, cumpliendo así el objetivo final del andamiaje pedagógico.

Figura 15.

Evaluación para la autonomía con soporte mínimo.

4. Si el área de un círculo es $100\pi \text{ cm}^2$, ¿cuál es su radio?

A. 5 cm B. 10 cm

C. 20 cm D. 25 cm

5. ¿Cuál es la relación correcta entre el radio (r) y el diámetro (d)?

A. $r = d$ B. $r = d * 2$

C. $d = r / 2$ D. $d = 2r$

Retroalimentación:
El diámetro es siempre el doble del radio, o lo que es lo mismo, el radio es la mitad del diámetro. La relación $d = 2r$ expresa esto correctamente.

Generar Otras Preguntas

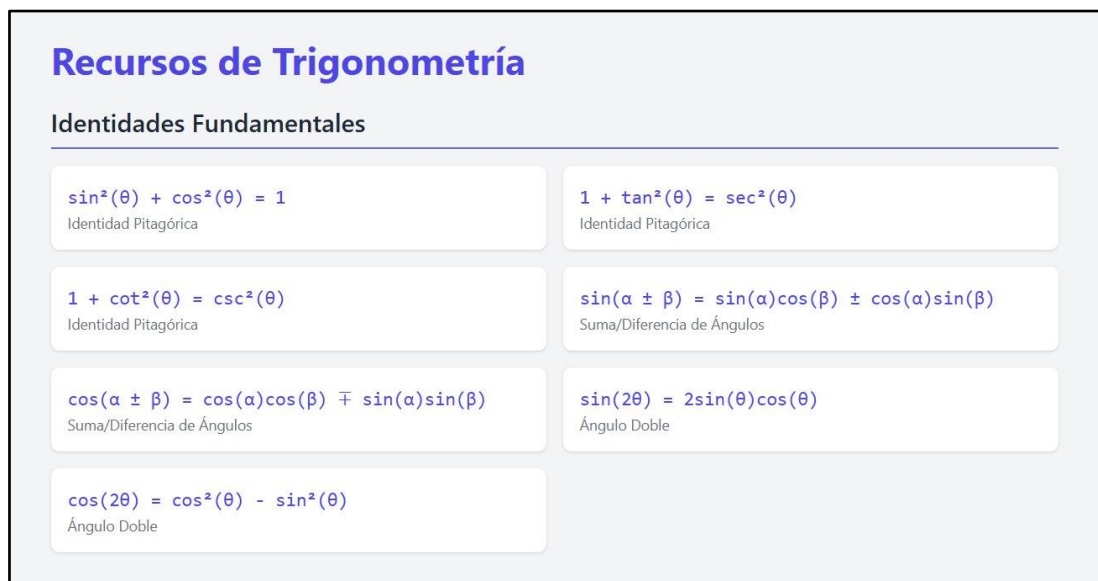
Elaborado por: Miyako Morales

4.2.3.4. Módulos de soporte al aprendizaje.

Para complementar el ciclo de andamiaje dinámico, la aplicación incorpora módulos de soporte adicionales que, si bien no forman parte de la progresión directa, son fundamentales dentro de un modelo educativo centrado en el usuario. Estas secciones, recursos y estadísticas, proveen herramientas de apoyo estático y de autorreflexión, respectivamente, para enriquecer la experiencia de aprendizaje.

El módulo de recursos, como se muestra en la **Figura 16**, ofrece al estudiante un compendio de información de consulta rápida, como las identidades trigonométricas fundamentales. Esta sección funciona como un apoyo de memoria estático y fiable, al cual el usuario puede acudir en cualquier momento para reforzar su base teórica sin necesidad de iniciar una nueva consulta con la inteligencia artificial.

Figura 16.
Módulo de recursos como herramienta de apoyo estático.



Elaborado por: Miyako Morales

Por otro lado, la vista de estadísticas (véase **Figura 17**) está diseñada para fomentar la metacognición. Este panel permite que el estudiante monitoree de manera cuantitativa su propio progreso, visualizando datos como el tiempo dedicado a cada sección y su rendimiento específico en los ejercicios y cuestionarios. Al presentar esta información de forma clara, se empodera al estudiante para que reflexione sobre sus hábitos de estudio y áreas de mejora, contribuyendo a un aprendizaje más autónomo y consciente.

Figura 17.
Panel de estadísticas para el fomento de la metacognición.



Elaborado por: Miyako Morales

4.3. Validación del modelo y experiencia de usuario

Para llevar a cabo la validación del modelo, los estudiantes del Décimo Año de Educación General Básica, paralelos 'C' y 'D', de la Unidad Educativa Víctor Manuel Rendón, interactuaron directamente con la aplicación web 'TrigTutor IA'. Posteriormente a esta interacción práctica, se aplicó un instrumento de evaluación estructurado en dos segmentos complementarios.

En primera instancia, se realizó una validación de los elementos del modelo, diseñada específicamente para confirmar que los estudiantes detectaran que el modelo propuesto estaba siendo aplicado efectivamente durante su aprendizaje. En segunda instancia, una vez verificada esta percepción, se procedió a medir la usabilidad de la plataforma tecnológica que aloja dicho modelo.

4.3.1. Resultados de la validación de los elementos del modelo

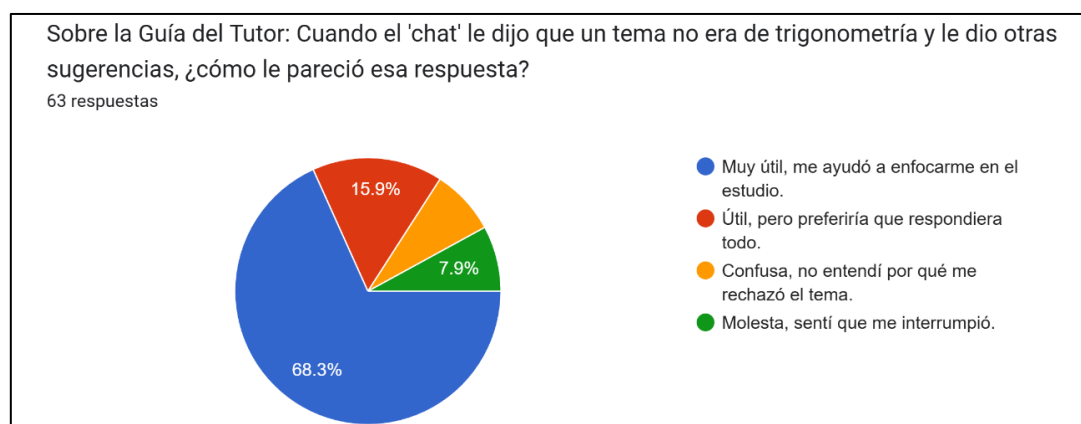
Los datos obtenidos de la interacción de los 63 participantes con la aplicación, específicamente orientados a verificar la funcionalidad de los cuatro pilares fundamentales del modelo propuesto. Los resultados detallados a continuación confirman la presencia operativa de estos elementos en la experiencia educativa.

4.3.1.1. Identificación del bucle de validación

En este primer punto, se evaluó si los estudiantes fueron capaces de detectar el mecanismo de restricción temática diseñado para mantener el contexto educativo. La encuesta indagó sobre la percepción de los usuarios cuando el sistema rechazaba consultas ajenas a la trigonometría.

Figura 18.

Percepción de la utilidad de las restricciones temáticas.



Fuente: Encuesta a estudiantes de 10mo EGB

Elaborado por: Miyako Morales

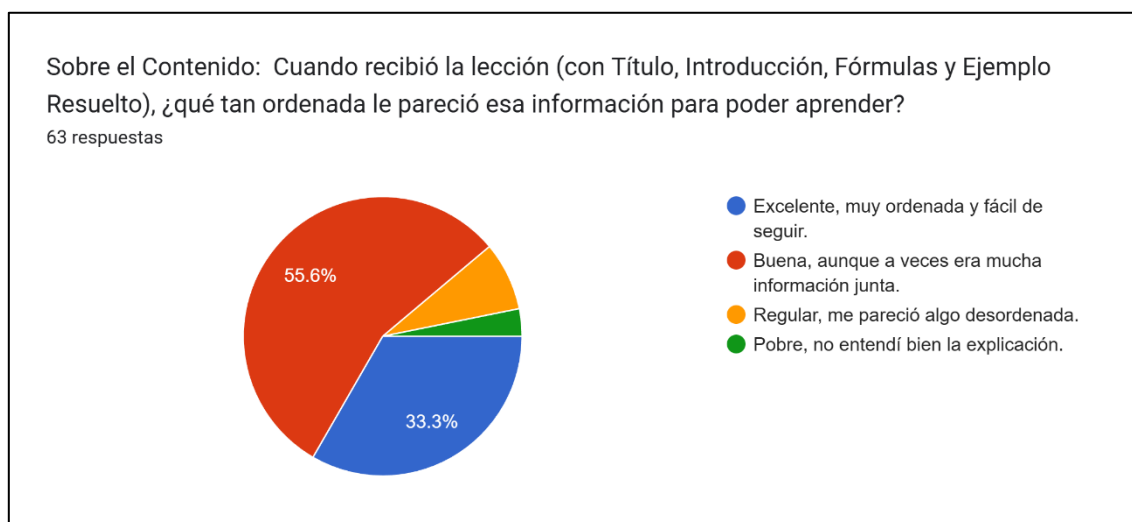
Los datos evidencian una validación positiva del mecanismo de seguridad. El 68.3% de los estudiantes calificó la intervención de la IA como "Muy útil", indicando específicamente que esta función les permitió mantener el enfoque en el estudio. Este resultado confirma que el diseño del bucle de validación cumplió su objetivo de actuar como un tutor que gestiona la atención del alumno y asegura el propósito educativo de la interacción, filtrando eficazmente las distracciones.

4.3.1.2. Verificación de la generación estructurada de contenido

En este apartado se evaluó la eficacia del constructor de instrucciones diseñado para organizar la salida del modelo generativo. El objetivo fue confirmar que la inteligencia artificial entregara lecciones con una arquitectura definida, evitando la generación de bloques de texto desestructurados.

Figura 19.

Valoración del orden y claridad de las lecciones generadas.



Fuente: Encuesta a estudiantes de 10mo EGB

Elaborado por: Miyako Morales

La tendencia observada en el gráfico confirma que la arquitectura de información diseñada fue exitosa. La gran mayoría de los estudiantes validó la estructura de las lecciones, reconociendo una organización lógica y coherente que oscila entre la excelencia y una valoración positiva.

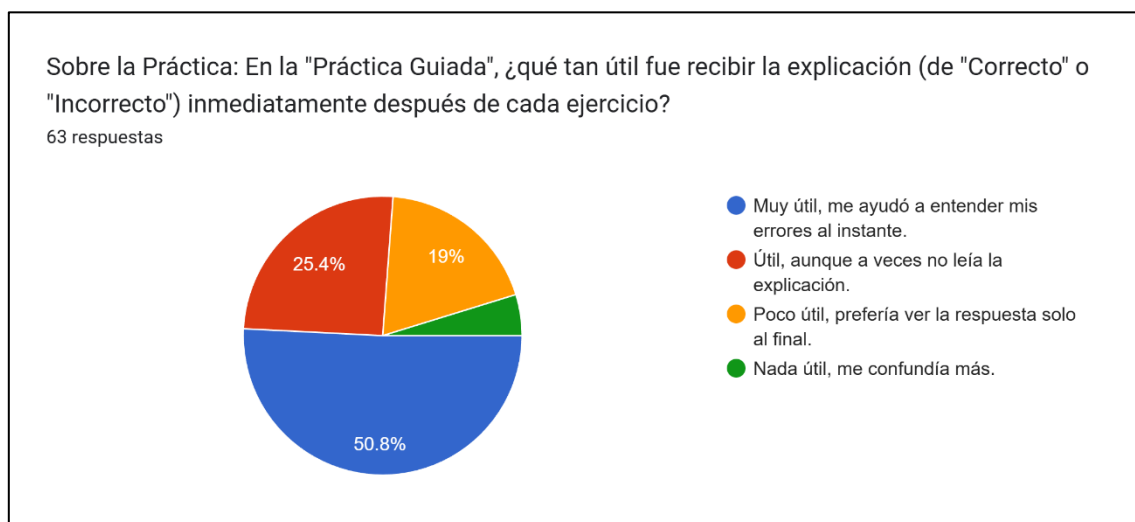
Esta respuesta de los usuarios ratifica la efectividad técnica de la ingeniería de instrucciones implementado, el sistema obedeció rigurosamente la instrucción de segmentación lógica del contenido (título, introducción, fórmulas y ejemplo). El hecho de que el grupo mayoritario haya validado la estructura, aun notando la densidad de la información, confirma que el modelo no solo genera texto, sino que produce contenido estructurado.

4.3.1.3. Verificación del andamiaje inmediato

En este punto se evaluó la eficacia de la retroalimentación automática proporcionada tras cada ejercicio en el modo de práctica guiada. El objetivo fue confirmar si los estudiantes percibían estas explicaciones instantáneas como un soporte útil para su aprendizaje.

Figura 20.

Utilidad percibida de la retroalimentación automática.



Fuente: Encuesta a estudiantes de 10mo EGB

Elaborado por: Miyako Morales

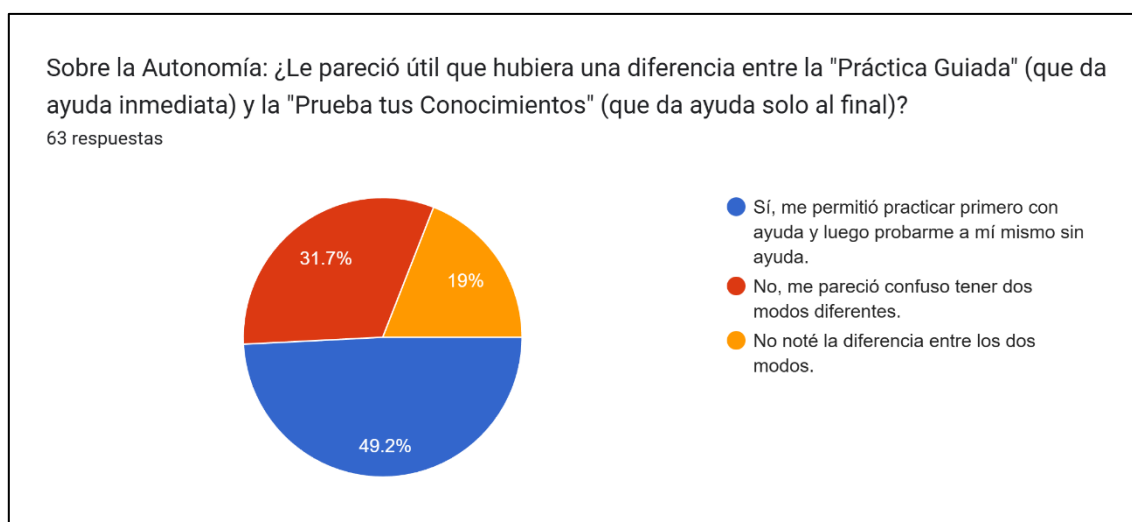
La evidencia gráfica demuestra una validación contundente del mecanismo de soporte. La mayoría de los estudiantes de la clase calificaron la retroalimentación como positiva, reconociendo su valor funcional dentro del proceso de resolución de problemas. Lo más destacable es que la mitad de los participantes identificó la herramienta como "Muy útil" específicamente por su capacidad para clarificar errores al instante.

4.3.1.4. Identificación de la progresión hacia la autonomía

Finalmente, se indagó sobre la transición entre el aprendizaje guiado y la evaluación independiente. El objetivo fue confirmar si el modelo permitía a los estudiantes experimentar el retiro gradual de la ayuda como parte de su proceso de estudio.

Figura 21.

Identificación de la progresión hacia la autonomía.



Fuente: Encuesta a estudiantes de 10mo EGB

Elaborado por: Miyako Morales

Los resultados demuestran que la estrategia de autonomía progresiva fue identificada y valorada positivamente por el segmento mayoritario de la muestra. Los estudiantes reconocieron la utilidad de contar con dos entornos diferenciados, uno para entrenar con asistencia inmediata y otro para medir sus conocimientos reales sin soporte.

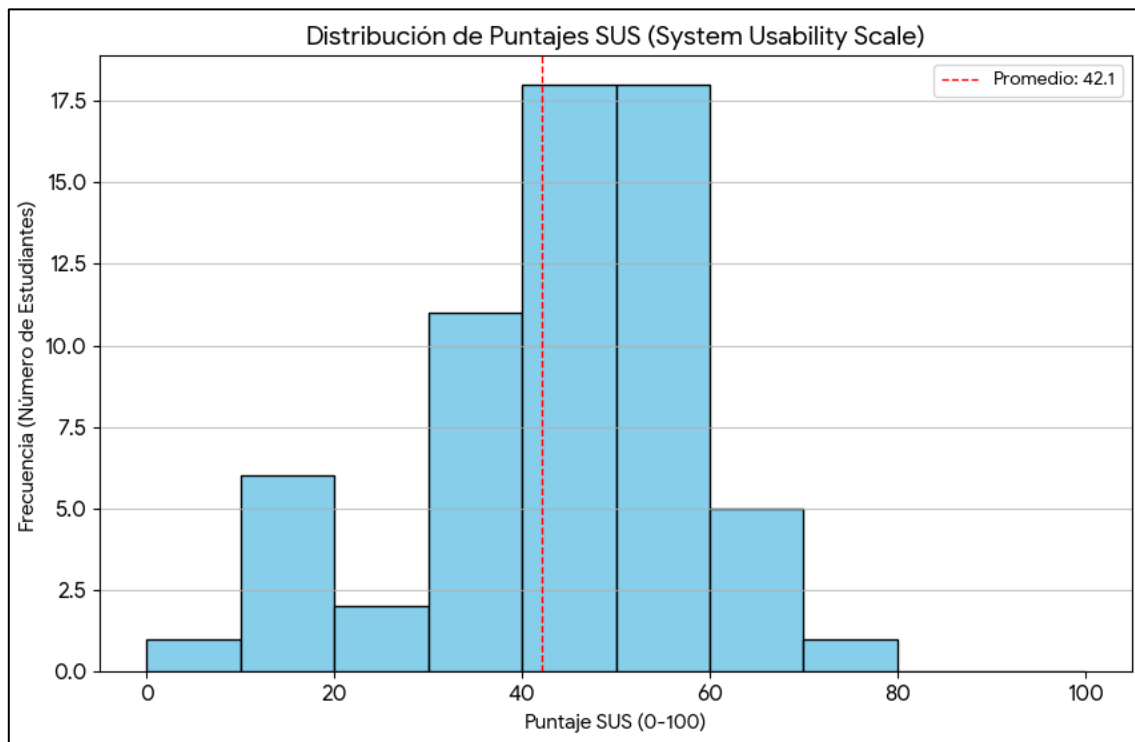
El sistema logró comunicar exitosamente el cambio de rol, pasando de ser un tutor que acompaña paso a paso a ser un evaluador neutral, proporcionando así una ruta de aprendizaje que fomenta la independencia académica del usuario.

4.3.2. Evaluación de la experiencia de usuario

Una vez verificada la integración del modelo en la aplicación, se procedió a cuantificar la calidad de la interacción tecnológica con la plataforma web "TrigTutor IA". Para ello se utilizó (SUS), un estándar industrial que permitió medir la usabilidad global de la aplicación.

El análisis de los datos recolectados $n=63$ arrojó un puntaje promedio de 42.1 sobre 100. Este valor proporciona un diagnóstico técnico preciso sobre el estado actual del prototipo y revela una relación significativa entre el valor educativo y la interfaz.

Figura 22.
Distribución de puntajes SUS.



Fuente: Encuesta a estudiantes de 10mo EGB

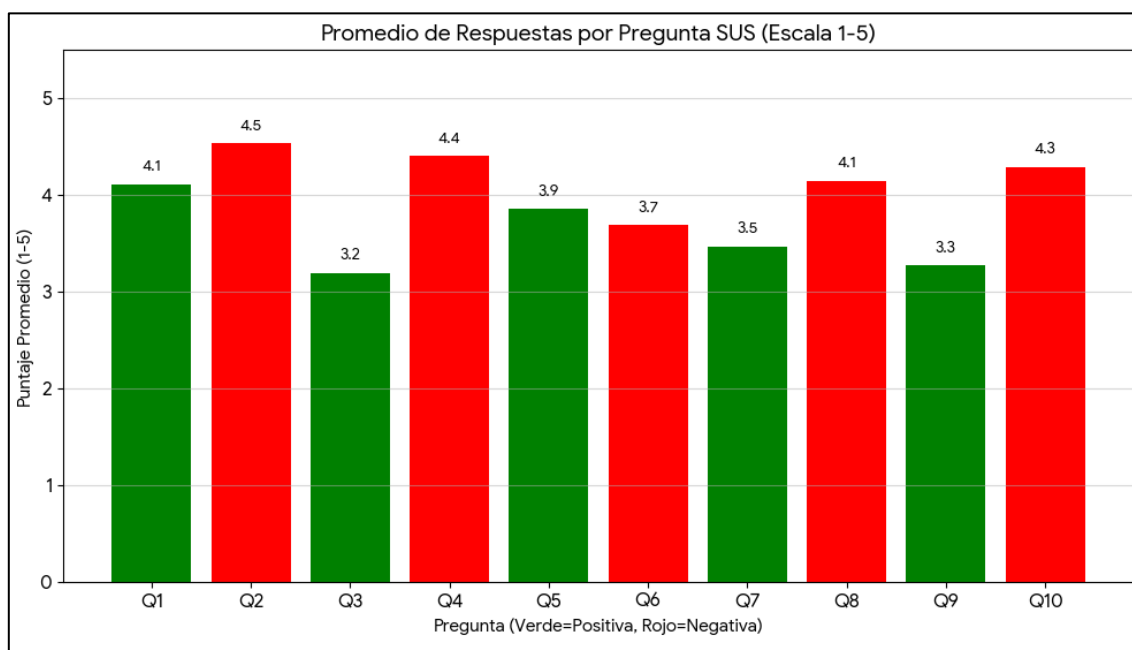
Elaborado por: Miyako Morales

La distribución de los puntajes refleja la naturaleza experimental de la herramienta. Si bien la usabilidad técnica se ubica en un rango marginal, esto es consistente con prototipos funcionales enfocados en validar lógica compleja sobre diseño visual. El dato clave no reside en el promedio global, sino en cómo los estudiantes valoraron aspectos específicos de su experiencia, lo cual se detalla en el siguiente indicador.

Al desglosar la evaluación por ítems, se observa una dicotomía que refuerza la propuesta de valor del proyecto, los estudiantes perciben la herramienta como compleja de operar, pero manifiestan una alta disposición a utilizarla debido a su utilidad académica **ANEXO 4**.

Figura 23.

Promedio de respuestas por pregunta SUS.



Fuente: Encuesta a estudiantes de 10mo EGB

Elaborado por: Miyako Morales

El indicador más significativo para la viabilidad del proyecto reside en el ítem 1, "*Me gustaría usar esta aplicación frecuentemente*", el cual alcanzó una valoración promedio de 4.1 sobre 5. Este resultado constituye una validación directa del éxito del modelo, confirma que los estudiantes perciben un valor intrínseco en la nueva herramienta.

En contraste, los indicadores relacionados con la interacción, específicamente la complejidad percibida ítem 2, 4.5 sobre 5 y la curva de aprendizaje ítem 10, 4.3 sobre 5, señalan claramente dónde residen los desafíos. Estos valores elevados demuestran que el poco dominio del tema de trigonometría les hace que se les complique el uso de la herramienta.

4.3.3. Resultados de la validación de expertos sobre el material educativo generado por la IA

Para garantizar que el contenido generado por "TrigTutor IA" cumple con los estándares académicos y pedagógicos requeridos, se sometió la herramienta al juicio de docentes experimentados. Este proceso permitió evaluar dimensiones críticas como la precisión matemática, la coherencia didáctica y la seguridad del entorno de aprendizaje.

4.3.3.1. Perfil de los validadores

La validación fue realizada por dos profesionales con trayectoria en la docencia de matemáticas y educación superior, cuyos perfiles aseguran una revisión tanto técnica como pedagógica:

Docente 1: Licenciado en Ciencias de la Educación, mención Físico Matemáticas, con experiencia docente en Educación General Básica Superior (Escuela Víctor Manuel Rendón).

Docente 2: Magíster en Matemática, mención Modelación y Docencia, docente universitario (Universidad Técnica Estatal de Quevedo).

4.3.3.2. Análisis cuantitativo de la calidad del contenido

Los docentes evaluaron 10 indicadores utilizando una escala de likert de 5 puntos, donde 5 significa "Totalmente de acuerdo". Los resultados, detallados en la **Tabla 2**, evidencian un alto nivel de consenso respecto a la fiabilidad de la herramienta.

Tabla 2.

Resultados de la validación por juicio de expertos.

Dimensión evaluada	Indicador (ítem)	Promedio (escala 1-5)	Interpretación
Rigor matemático	1. Precisión de definiciones conceptuales	5.0	Excelente
	2. Lógica en resolución de ejercicios	4.5	Muy bueno
	3. Terminología matemática adecuada	4.5	Muy bueno
Pedagogía y didáctica	4. Nivel de complejidad para 10mo egb	4.5	Adecuado
	5. Estructura de las lecciones	4.5	Adecuado
	6. Alineación curricular (destrezas)	4.5	Alta
	7. Retroalimentación inmediata ("práctica guiada")	5.0	Excelente
Seguridad y entorno	8. Asistencia contingente (chat de dudas)	4.0	Bueno
	9. Utilidad del filtro de relevancia	5.0	Excelente
	10. Seguridad y fiabilidad como herramienta de apoyo	4.5	Alta

Fuente: Encuesta de validación de expertos (2025).

Elaborado por: Miyako Morales

Los datos muestran que la dimensión de rigor matemático obtuvo una calificación casi perfecta, destacando especialmente la precisión de las definiciones. Esto confirma que el modelo cualitativo, mediante la ingeniería de instrucciones, logra mitigar las "alucinaciones" comunes de la IA.

En la dimensión pedagógica, la retroalimentación inmediata fue valorada con un puntaje máximo, validando la capacidad del sistema para explicar errores, un componente clave del andamiaje. El filtro de relevancia también obtuvo la máxima puntuación, respaldando la decisión de restringir el dominio de la IA para mantener el foco educativo.

4.3.3.3. Análisis cualitativo y oportunidades de mejora

En la sección de observaciones abiertas, los expertos coincidieron en una recomendación específica para potenciar la herramienta: la necesidad de integrar elementos visuales.

"Sería bueno equilibrar la teoría con ilustraciones. Complementar los conceptos con la parte gráfica, en ocasiones el estudiante al ver mucho texto, se cansa con facilidad..." (Experto 2).

Dicha retroalimentación valida una limitación actual del prototipo y sugiere que la incorporación de capacidades multimodales debe ser una prioridad en futuras iteraciones para reducir la carga cognitiva visual y mejorar la experiencia de usuario.

La validación de expertos certifica que "TrigTutor IA" es una herramienta segura, precisa y pedagógica, cumpliendo con los requisitos necesarios para servir como apoyo en la enseñanza de la trigonometría.

4.4. Discusión

Los resultados obtenidos en la formulación del modelo cualitativo y la posterior construcción del artefacto tecnológico "TrigTutor IA" guardan una estrecha correspondencia con las tendencias y necesidades identificadas en la literatura científica. Mientras que los estudios del marco referencial describen el qué, la presente investigación aporta un cómo.

El primer resultado de esta tesis, responde directamente a la brecha metodológica identificada en la introducción. La revisión sistemática de Pérez-Jorge et al. (2025) confirma que la personalización del aprendizaje es un área de interés central, abordada por el 100% de los trabajos que analizaron, mientras que la integración de plataformas mediante API fue objeto de estudio en el 74.1% de los casos. El modelo propuesto se alinea con estas áreas prioritarias, y se articula en una arquitectura funcional. Su diseño, que incluye un bucle de validación y un núcleo de generación basado en la aplicación de ingeniería de instrucciones, ofrece una

solución práctica a las preocupaciones sobre sesgos algorítmicos y la calidad del contenido, desafíos éticos también destacados en dicha revisión. De igual manera, el modelo materializa la visión de la UNESCO (2019) sobre un sistema de doble profesor, donde la IA se encarga de tareas rutinarias como la generación de contenido y ejercicios de manera controlada, liberando al docente para centrarse en la orientación personalizada.

Tabla 3.

Posicionamiento del modelo cualitativo en el panorama de investigación.

Dimensión Clave (Según Pérez-Jorge et al., 2025)	% de Estudios Analizados	¿Calza el modelo cualitativo propuesto?	Aporte del Modelo
IA para la gestión de datos	100%	Sí	El modelo es una arquitectura para la gestión inteligente de datos, controlando el flujo desde la entrada del usuario con el bucle de validación hasta la entrega de una respuesta estructurada.
Personalización del Aprendizaje	100%	Sí	El núcleo del modelo es habilitar la personalización a través del constructor de instrucciones, que traduce estrategias pedagógicas en instrucciones adaptativas para la IA.
Integración de API	74.1%	Sí	El modelo es fundamentalmente una metodología para la integración de una API de IA generativa. Ofrece un esquema replicable sobre cómo consumir y estructurar la comunicación con la IA.
Retroalimentación Generada por IA	37.0%	Sí	El modelo proporciona el mecanismo estructurado para solicitar y recibir retroalimentación, permitiendo que el constructor de instrucciones exija explícitamente esta función a la IA.
Predicción del Rendimiento	14.8%	No	El enfoque del modelo es la interacción instruccional en tiempo real. No incluye componentes para el análisis de datos a largo plazo ni para la predicción del rendimiento académico futuro del estudiante.

Elaborado por: Miyako Morales

El segundo resultado, la construcción de la aplicación web "TrigTutor IA", sirve como una validación práctica de dicho modelo. La implementación de la estrategia de andamiaje pedagógico es una manifestación concreta de la enseñanza personalizada que González-González (2023) señala como una de las transformaciones clave impulsadas por la IA.

Mientras Pérez-Jorge et al. (2025) reportan que la retroalimentación automatizada y la personalización mejoran el compromiso del estudiante (63%) y la comprensión de contenidos (55.6%), "TrigTutor IA" implementa estas funciones a través de sus módulos de práctica guiada

y evaluación. A diferencia de los estudios revisados, que se enfocan en analizar los efectos generales de la IA, este proyecto demuestra la aplicabilidad de un modelo de diseño específico para la construcción de una herramienta orientada a resolver una necesidad educativa concreta, como es el bajo rendimiento en trigonometría. Así, la presente investigación avanza desde la descripción de las potencialidades de la IA hacia la prescripción de una metodología para su desarrollo efectivo.

La evidencia empírica de este estudio, donde el 76.2% de los estudiantes validó la utilidad de la retroalimentación inmediata y el 50.8% destacó su capacidad para clarificar errores al instante, materializa lo expuesto por González-González. Esta autora sostiene que la inteligencia artificial tiene el potencial de revolucionar la educación precisamente mediante la "mejora de la retroalimentación" y la "personalización del aprendizaje". Los resultados de "TrigTutor IA" confirman que cuando la tecnología trasciende la entrega pasiva de contenidos y asume un rol activo de corrección, la percepción de valor por parte del estudiante aumenta significativamente, alineándose con la capacidad de la IA para adaptar el ritmo de enseñanza a las necesidades individuales [11].

La aceptación del 68.3% de los estudiantes frente al mecanismo de restricción temática refuerza la visión de la UNESCO sobre el uso de la IA para garantizar una educación equitativa y de calidad. Al actuar como un tutor que filtra distracciones y mantiene el foco pedagógico, el modelo propuesto operacionaliza el concepto de apoyo docente automatizado, permitiendo que la tecnología se encargue de la supervisión rutinaria. Esto es consistente con la postura de organismos internacionales que abogan por sistemas inteligentes que no reemplacen, sino que complementen y estructuren la experiencia educativa para asegurar el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje.

Finalmente, la discrepancia observada entre una baja usabilidad técnica SUS de 42.1 sobre 100 y una alta intención de adopción 4.1 sobre 5 encuentra sustento en el análisis de Pérez-Jorge et al. (2025). Estos autores destacan que el uso de APIs impulsadas por IA permite una gestión de la información educativa más eficiente y flexible. En el caso de "TrigTutor IA", fue precisamente la potencia de la API de generación lo que sostuvo el interés de los estudiantes. Los hallazgos sugieren que los usuarios priorizaron la calidad de la información y la capacidad de respuesta del modelo generativo. Esto valida que la arquitectura de integración API es el camino correcto para el desarrollo de herramientas educativas robustas, aun cuando la capa de visualización requiera iteraciones futuras.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se ha formuló un modelo cualitativo que sirve como una arquitectura de referencia para la integración de la inteligencia artificial generativa en el desarrollo de software educativo. Este modelo estandariza la interacción con la IA mediante un flujo de operaciones sistemático que incluye un bucle de validación para asegurar la pertinencia del contenido y un núcleo de generación basado en una metodología de ingeniería de instrucciones. Dicha estructura ha demostrado ser una guía metodológica que traduce los principios pedagógicos en instrucciones técnicas controladas.

Se logró la construcción de la aplicación web funcional "TrigTutor IA", la cual materializa y valida la aplicabilidad práctica del modelo cualitativo propuesto. La implementación de la estrategia de andamiaje pedagógico y los módulos de soporte al aprendizaje en la aplicación demuestra que el modelo es teóricamente sólido, como también técnicamente viable para crear herramientas educativas interactivas y adaptativas.

Se validó empíricamente la efectividad del modelo cualitativo en un entorno educativo real, confirmando su capacidad para generar una experiencia de aprendizaje estructurada y segura. De manera crucial, los resultados evidencian que los LLMs actuales poseen la madurez tecnológica necesaria para producir contenido con un nivel de rigor matemático y pedagógico suficiente para su implementación directa, ratificando la viabilidad de delegar su producción a la IA con un alto grado de autonomía. No obstante, es necesario acotar que, según la encuesta realizada a los estudiantes, se identificó un nivel considerable de complejidad en el uso de la herramienta.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda replicar la aplicación del modelo cualitativo en otras áreas del conocimiento, más allá de la trigonometría, para evaluar su flexibilidad y escalabilidad. La arquitectura conceptual propuesta es lo suficientemente abstracta para ser adaptada a diferentes dominios, lo que permitiría validar su universalidad como marco de referencia para el desarrollo de software educativo basado en IA.

Para futuras iteraciones del modelo, se sugiere ampliar las capacidades de la lógica adaptativa del constructor de instrucciones. Se podría explorar la integración de variables contextuales adicionales, como el historial de rendimiento del estudiante o sus estilos de aprendizaje preferidos, para generar un contenido aún más personalizado. Esto potenciaría la efectividad del aprendizaje adaptativo y enriquecería la experiencia del usuario. Añadir gráficos que ilustren la teoría para mejorar la usabilidad de la aplicación.

Finalmente, se sugiere considerar las limitaciones de infraestructura tecnológica como una variable crítica para el escalamiento del modelo propuesto. Dado que la dependencia de una conectividad estable para el consumo de APIs de inteligencia artificial generativa puede representar una barrera de exclusión en zonas con baja cobertura de internet o escasez de recursos digitales, se recomienda investigar la evolución del artefacto hacia arquitecturas híbridas o el uso de modelos de lenguaje pequeños. La implementación de estas tecnologías permitiría la ejecución local de los algoritmos y el funcionamiento en modo desconectado, garantizando así la democratización del acceso a estas herramientas de tutoría avanzada en contextos educativos con recursos limitados.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. I. Roumeliotis, N. D. Tselikas, and D. K. Nasiopoulos, “DeepSeek and GPT Fall Behind: Claude Leads in Zero-Shot Consumer Complaints Classification,” Feb. 10, 2025. doi: 10.20944/preprints202502.0720.v1.
- [2] D.-M. Sambola, “Inteligencia Artificial en la Educación: Estado del Arte,” *Wani*, no. 79, Oct. 2023, doi: 10.5377/wani.v39i79.16806.
- [3] M. Del, C. Loján, J. A. Romero, D. S. Aguilera, and A. Y. Romero, “Consecuencias de la Dependencia de la Inteligencia Artificial en Habilidades Críticas y Aprendizaje Autónomo en los Estudiantes,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, no. 2, pp. 2368–2382, Apr. 2024, doi: 10.37811/CL_RCM.V8I2.10678.
- [4] R. Almeida de Bem and A. Aparecida Konzen, “Um Estudo Acerca do Uso de IA Generativa no Apoio à Aprendizagem de Programação,” Jun. 2024. [Online]. Available: <https://github.com/huggingface/transformers>
- [5] “pisa 2018 ecuador - Buscar con Google.” Accessed: Sep. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=pisa+2018+ecuador&oq=pisa+2018+ecuador&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIGCAEQLhhA0gEINDY2MmowajSoAgCwAgE&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- [6] A. S. George, “Artificial Intelligence and the Future of Work: Job Shifting Not Job Loss,” 2024, doi: 10.5281/zenodo.10936490.
- [7] Ş. Gökçearslan, C. Tosun, and Z. G. Erdemir, “Benefits, Challenges, and Methods of Artificial Intelligence (AI) Chatbots in Education: A Systematic Literature Review,” *International Journal of Technology in Education*, vol. 7, no. 1, pp. 19–39, Feb. 2024, doi: 10.46328/ijte.600.
- [8] G. J. Arteaga-Tuba and G. J. Arteaga-Tuba, “Recursos tecnológicos para el aprendizaje en el marco de la educación inclusiva ecuatoriana,” *Cienciamatria. Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*, vol. 10, no. 18, pp. 289–312, Jan. 2024, doi: 10.35381/CM.V10I18.1272.
- [9] E. Yanine, M. Olvera, E. Georgina, J. Bastidas, G. Janet, and M. Espinoza, “Análisis de la Brecha Digital y el Acceso a Recursos Tecnológicos en las Instituciones de Educación Secundaria en Ecuador,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, no. 2, pp. 6698–6719, May 2024, doi: 10.37811/CL_RCM.V8I2.11086.

- [10] V. R. Jama Zambrano and J. K. Cornejo Zambrano, “Los recursos tecnológicos y su influencia en el desempeño de los docentes,” *Dominio de las Ciencias, ISSN-e 2477-8818, Vol. 2, N°. Extra 3, 2016 (Ejemplar dedicado a: Monográfico de Ciencias de la Salud)*, págs. 201-219, vol. 2, no. 3, pp. 201–219, 2016, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6324010&info=resumen&idioma=ENG>
- [11] C. S. González-González, “El impacto de la inteligencia artificial en la educación: transformación de la forma de enseñar y de aprender,” *Curriculum. Revista de Teoría, Investigación y Práctica educativa*, no. 36, pp. 51–60, 2023, doi: 10.25145/j.curricul.2023.36.03.
- [12] L. Chen, P. Chen, and Z. Lin, “Artificial Intelligence in Education: A Review,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 75264–75278, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988510.
- [13] Stalin Patricio Toledo Cuenca, “Año lectivo 2022-2023 Ser Estudiante Informe Nacional de Resultados,” 2023. Accessed: Sep. 03, 2025. [Online]. Available: www.evaluacion.gob.ec
- [14] M. E. Portes López, Y. E. Chila Avilez, and H. V. Chila Ortiz, “Revelaciones del análisis ser estudiante 2023 y estrategias innovadoras para potenciar el éxito estudiantil,” *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, vol. 5, no. 4, Jul. 2024, doi: 10.56712/latam.v5i4.2303.
- [15] N. Kosmyrna *et al.*, “Your Brain on ChatGPT: Accumulation of Cognitive Debt when Using an AI Assistant for Essay Writing Task,” Jun. 2025, Accessed: Sep. 15, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2506.08872>
- [16] “The SAGE Handbook of Qualitative Research”, Accessed: Jul. 31, 2025. [Online]. Available: https://d11.cuni.cz/pluginfile.php/1143325/mod_resource/content/1/Norman%20K.%20Denzin%20Yvonna%20S.%20Lincoln%20The%20SAGE%20Handbook%20of%20Qualitative%20Research-SAGE%20Publications%20Inc%20%282017%29.pdf
- [17] “Introduccion-a-Los-Metodos-Cualitativos-de-Investigacion-Taylor-S-J-Bogdan-R”, Accessed: Jul. 31, 2025. [Online]. Available: <https://pics.unison.mx/maestria/wp->

- content/uploads/2020/05/Introduccion-a-Los-Metodos-Cualitativos-de-Investigacion-Taylor-S-J-Bogdan-R.pdf
- [18] “the discovery of grounded theory”.
- [19] S. H. Park, “Use of Generative Artificial Intelligence, Including Large Language Models Such as ChatGPT, in Scientific Publications: Policies of KJR and Prominent Authorities,” Aug. 01, 2023, *Korean Radiological Society*. doi: 10.3348/kjr.2023.0643.
- [20] C. A. Cortes-Camarillo, G. Alor-Hernández, B. A. Olivares-Zepahua, L. Rodríguez-Mazahua, and S. Gustavo Peláez-Camarena, “Análisis comparativo de patrones de diseño de interfaz de usuario para el desarrollo de aplicaciones educativas Comparative Analysis of User Interface Design Patterns for Developing Educational Applications,” *Research in Computing Science*, vol. 126, pp. 31–41, 2016, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.rcs.cic.ipn.mx/2016_126/Analisis%20comparativo%20de%20patrones%20de%20diseno%20de%20interfaz%20de%20usuario%20para%20el%20desarrollo.pdf
- [21] B. Faghih, M. Reza Azadehfar, and S. D. Katebi, “User Interface Design for E-Learning Software,” *JSCSE*, vol. 3, no. 3, 2013, doi: 10.7321/jscse.v3.n3.119.
- [22] EARL W. SWOKOWSKI and JEFFERY A. COLE, “Álgebra y Trigonometría con Geometría Analítica,” vol. 12a. edición, 2009, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: https://tuaulavirtual.educatic.unam.mx/pluginfile.php/977649/mod_resource/content/0/Swokowski.pdf
- [23] S. Luján Mora, “Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web,” Oct. 2002, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=204176&info=resumen&idioma=SPA>
- [24] M. R. Valarezo Pardo, J. A. Honores Tapia, A. S. Gómez Moreno, and L. F. Vences Sánchez, “Comparación de tendencias tecnológicas en aplicaciones web,” *3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, ISSN-e 2254-4143, Vol. 7, Nº. 3, 2018, págs. 28-49, vol. 7, no. 3, pp. 28–49, 2018, doi: 10.17993/3ctecno.2018.v7n3e27.28-49/30.

- [25] R. V Lerma-Blasco *et al.*, “Aplicaciones web Aplicaciones Web Aplicaciones web Materiales del proyecto,” 2013, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: www.mhe.es/cf/informatica
- [26] M. Vidal, F. Gómez, M. Ii, A. M. Ruiz, and P. Iii, “Software educativos,” *Educación Médica Superior*, vol. 24, no. 1, pp. 97–110, 2010, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412010000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- [27] M. Sc José Salvador Márquez Cundú ProfesorAuxiliar, “Software educativo o recurso educativo Educational software oreducationalresource,” 2018.
- [28] A. K. Miller *et al.*, “An overview of the CellML API and its implementation,” *BMC Bioinformatics*, vol. 11, no. 1, pp. 1–12, Apr. 2010, doi: 10.1186/1471-2105-11-178/FIGURES/1.
- [29] M. Lamothe, Y. G. Guéhéneuc, and W. Shang, “A Systematic Review of API Evolution Literature,” *ACM Comput Surv*, vol. 54, no. 8, Nov. 2022, doi: 10.1145/3470133;SERIALTOPIC:TOPIC:ACM-PUBTYPE>JOURNAL;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER.
- [30] J. White *et al.*, “A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT,” 2023, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <https://omekas-test.sba.unipi.it/files/original/9473424cea8d562f876a4bca4bedd9e2336910af.pdf>
- [31] S. Ekin, “Prompt Engineering For ChatGPT: A Quick Guide To Techniques, Tips, And Best Practices,” *Authorea Preprints*, Oct. 2023, doi: 10.36227/TECHRXIV.22683919.V1.
- [32] P. Sahoo, A. K. Singh, S. Saha, V. Jain, S. Mondal, and A. Chadha, “A Systematic Survey of Prompt Engineering in Large Language Models: Techniques and Applications,” Mar. 2025, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2402.07927>
- [33] J. Ed. Hammond, “Scaffolding: Teaching and Learning in Language and Literacy Education.,” p. 116, Jul. 2001, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <http://www.peta.edu.au>.

- [34] A. Bakker, J. Smit, and R. Wegerif, "Scaffolding and dialogic teaching in mathematics education: introduction and review," *ZDM - Mathematics Education*, vol. 47, no. 7, pp. 1047–1065, Nov. 2015, doi: 10.1007/S11858-015-0738-8/FIGURES/2.
- [35] D. María, D. Carmen, and M. Lozano, "Aprendizaje adaptativo," 2016, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/21000>
- [36] D. Pérez-Jorge, M. C. González-Afonso, A. G. Santos-Álvarez, Z. Plasencia-Carballo, and C. de los Á. Perdomo-López, "The Impact of AI-Driven Application Programming Interfaces (APIs) on Educational Information Management," Jul. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/info16070540.
- [37] Francesc Pedró, Paula Valverde, Axel Rivas, and Miguel Subosa, "Challenges and Opportunities for Sustainable Development Education Sector United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization," *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)*, 2019, Accessed: Sep. 06, 2025. [Online]. Available: <https://en.unesco.org/themes/education-policy->
- [38] CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, "CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR," *Registro Oficial*, vol. 449, no. 20, pp. 25–2021, 2008, Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- [39] Ley Orgánica De Educación Intercultural, "LEY ORGÁNICA DE EDUCACIÓN INTERCULTURAL", Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/02/Ley_Organica_de_Educacion_Intercultural_LOEI_codificado.pdf
- [40] LEY ORGÁNICA DE PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES, "LEY ORGÁNICA DE PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES", Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.finanzaspopulares.gob.ec/wp-content/uploads/2021/07/ley_organica_de_proteccion_de_datos_personales.pdf
- [41] ING. HUGO DEL POZO BARREZUETA DIRECTOR, "Codigo-Organico-de-la-Economia-Social-de-los-Conocimientos-Creatividad-e-Innovacion", Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp->

content/uploads/2018/10/Codigo-Organico-de-la-Economia-Social-de-los-Conocimientos-Creatividad-e-Innovacion.pdf

- [42] E. General Básica and M. DE Educación, “Introducción general Subnivel SUPERIOR”, Accessed: Sep. 23, 2025. [Online]. Available: www.educacion.gob.ec
- [43] G. F. R. Muñoz, “Integration of technology and pedagogy in intelligent tutoring systems,” *Edupec*, no. 89, pp. 144–155, Sep. 2024, doi: 10.21556/edutepec.2024.89.3199.
- [44] D. Frye, E. S.-A. S. Bulletin, and undefined 1986, “Interface design: A neglected issue in educational software,” *dl.acm.org*, vol. 17, no. SI, pp. 93–97, May 1986, doi: 10.1145/30851.30865.
- [45] N. Knoth, A. Tolzin, A. Janson, and J. M. Leimeister, “AI literacy and its implications for prompt engineering strategies,” *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 6, p. 100225, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.CAEAI.2024.100225.
- [46] T. Gonulal and S. Loewen, “Scaffolding Technique Framing the Issue,” 2018, doi: 10.1002/9781118784235.eelt0180.
- [47] T. Pangan and F. Sains Dan Teknologi, “FRAMEWORK KARANGTURI UNTUK PROMPT ENGINEERING: ANALISIS KOMPARATIF DENGAN RTF, COT, DAN REACT PADA MODEL AI GENERATIF,” *Science Technology and Management Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 133–138, Aug. 2025, doi: 10.53416/STMJ.V5I2.353.
- [48] C. Énfasis En, C. Comunicacionales, and Y. Socioemocionales, “CURRÍCULO PRIORIZADO 2025 CONTIENE INSERCIONES CURRICULARES”, Accessed: Sep. 29, 2025. [Online]. Available: www.educacion.gob.ec

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO 1. PILA DE PRODUCTO INICIAL.

La pila de producto es un artefacto fundamental en las metodologías de desarrollo ágil, como scrum. Consiste en una lista ordenada y priorizada de todos los requerimientos, funcionalidades, mejoras y correcciones que constituyen el trabajo a realizar para desarrollar un producto. Para el presente proyecto, esta pila inicial traduce los objetivos de la investigación en elementos de trabajo concretos y gestionables.

Las funcionalidades se agrupan en epics, que son grandes bloques de trabajo, y se desglosan en historias de usuario específicas. Cada historia de usuario está redactada desde la perspectiva del usuario final o de un rol técnico siguiendo el formato estándar

Epic 1: Configuración del núcleo de IA y comunicación

Este epic engloba todas las tareas técnicas necesarias para establecer la comunicación con la API de la inteligencia artificial generativa y asegurar que las solicitudes y respuestas se procesen de manera estructurada y eficiente.

Tabla 4.

Historias de usuario del epic 1: configuración del núcleo de IA y comunicación.

ID	HISTORIA DE USUARIO	PRIORIDAD
IA-01	Como desarrollador, quiero configurar una conexión segura y autenticada con la API de gemini para proteger las credenciales y garantizar la integridad de la comunicación.	Alta
IA-02	Como desarrollador, quiero implementar el constructor de instrucciones basado en la metodología multi-capas (RTF, CRISPE, CLEAR) para transformar las intenciones del usuario en instrucciones precisas y ejecutables por el LLM.	Alta
IA-03	Como desarrollador, quiero definir y forzar un responseSchema en formato JSON para que la API devuelva datos estructurados que la aplicación web pueda interpretar y renderizar de forma consistente.	Alta
IA-04	Como desarrollador, quiero gestionar el historial de la conversación de cada sesión de usuario para aprovechar la ventana de contexto de Gemini y permitir que la IA ofrezca respuestas personalizadas y contextualizadas.	Media

Elaborado por: Miyako Morales

Epic 2: Interfaz de usuario y experiencia de aprendizaje (UI/UX)

Este epic se centra en el diseño y desarrollo de la interfaz con la que interactúa el estudiante, asegurando que sea intuitiva, accesible y propicia para el aprendizaje.

Tabla 5.

Historias de usuario del epic 2: interfaz de usuario y experiencia de aprendizaje (UI/UX)

ID	HISTORIA DE USUARIO	PRIORIDAD
UI-01	Como estudiante, quiero una interfaz de bienvenida clara y minimalista donde pueda ingresar fácilmente el tema de trigonometría que deseo aprender o practicar.	Alta
UI-02	Como estudiante, quiero visualizar el contenido generado (teoría, ejemplos, ejercicios) en una pantalla organizada, con texto legible y una clara separación entre las secciones para facilitar la lectura.	Alta
UI-03	Como estudiante, quiero poder enviar mis respuestas a los ejercicios y ver la retroalimentación de la IA directamente en la interfaz, sin tener que recargar la página.	Alta
UI-04	Como estudiante, quiero recibir notificaciones visuales claras y amigables cuando mi solicitud no sea válida o esté fuera del dominio de la trigonometría.	Media
UI-05	Como estudiante, quiero un botón para iniciar una nueva consulta o limpiar la sesión actual para poder comenzar a estudiar un nuevo tema sin confusión.	Baja

*Elaborado por: Miyako Morales***Epic 3: Generación de contenido pedagógico adaptativo**

Este epic constituye el núcleo funcional del proyecto, enfocado en la generación de contenido educativo que siga la estrategia pedagógica de andamiaje.

Tabla 6.

Historias de usuario del epic 3: generación de contenido pedagógico adaptativo

ID	HISTORIA DE USUARIO	PRIORIDAD
CP-01	Como estudiante, quiero solicitar un tema conceptual y recibir una lección que incluya una definición clara, una explicación teórica y ejemplos ilustrativos.	Alta
CP-02	Como estudiante, quiero solicitar un tema procedimental y recibir, además de la teoría, ejercicios de práctica para aplicar lo aprendido.	Alta
CP-03	Como estudiante, quiero que los ejercicios de práctica incluyan un mecanismo de evaluación y me proporcionen retroalimentación detallada, explicando por qué mi respuesta fue correcta o incorrecta.	Alta
CP-04	Como estudiante, quiero que el sistema adapte el nivel de dificultad y la cantidad de ayuda (pistas) en función de mi desempeño, reduciendo el soporte a medida que demuestro dominio del tema.	Media

Elaborado por: Miyako Morales

Epic 4: Sistema de validación y seguridad

Este epic aborda la implementación del flujo de validación, que actúa como un filtro inteligente para garantizar la pertinencia y seguridad de las interacciones antes de consumir los recursos del flujo de generación principal.

Tabla 7.

Historias de usuario del epic 4: sistema de validación y seguridad

ID	HISTORIA DE USUARIO	PRIORIDAD
VAL-01	Como desarrollador, quiero implementar una llamada inicial a la API que valide si la consulta del usuario es académicamente relevante para el dominio de la trigonometría.	Alta
VAL-02	Como desarrollador, quiero integrar un filtro de seguridad que utilice las capacidades de la IA para detectar y bloquear solicitudes inapropiadas, garantizando un entorno de aprendizaje seguro.	Alta
VAL-03	Como estudiante, quiero ser informado de manera constructiva si mi pregunta no puede ser respondida, para poder reformularla de una manera más efectiva.	Media

Elaborado por: Miyako Morales

Epic 5: Administración y despliegue

Este epic contiene las tareas técnicas necesarias para poner la aplicación en producción, monitorear su funcionamiento y asegurar su mantenimiento.

Tabla 8.

Historias de usuario del epic 4: sistema de validación y seguridad

ID	HISTORIA DE USUARIO	PRIORIDAD
ADM-01	Como administrador del sistema, quiero desplegar la aplicación web en una plataforma de alojamiento para que sea accesible a los usuarios a través de internet.	Alta
ADM-02	Como administrador del sistema, quiero implementar un sistema de monitoreo para supervisar el consumo de la API y controlar los costes operativos asociados.	Media
ADM-03	Como desarrollador, quiero configurar un registro de eventos) para capturar errores y analizar el flujo de interacciones, facilitando la depuración y futuras mejoras.	Baja

Elaborado por: Miyako Morales

Tabla 9.

Alineación de las funcionalidades de TrigTutor IA con el Currículo Nacional.

CÓDIGO DE LA DESTREZA	DESTREZA CRITERIO DESEMPEÑO (SEGÚN CURRÍCULO NACIONAL)	CON DE IA	IMPLEMENTACIÓN EN TRIGTUTOR IA
M.4.2.14.	Demostrar el teorema de Pitágoras utilizando áreas de regiones rectangulares.		La inteligencia artificial generativa de la aplicación puede, a solicitud del usuario, generar una explicación teórica detallada sobre la demostración del Teorema de Pitágoras, incluyendo la lógica basada en la suma de las áreas de los cuadrados de los catetos.
M.4.2.15.	Aplicar el teorema de Pitágoras en la resolución de triángulos rectángulos.		La aplicación genera ejemplos resueltos paso a paso y ejercicios de práctica interactiva (módulos "Práctica Guiada" y "Prueba tus Conocimientos") donde el estudiante debe aplicar directamente el Teorema de Pitágoras para hallar la longitud de un lado desconocido en un triángulo rectángulo.
M.4.2.16.	Definir e identificar las relaciones trigonométricas en el triángulo rectángulo (seno, coseno, tangente) para resolver numéricamente triángulos rectángulos.		Es una funcionalidad central de "TrigTutor IA". El sistema genera contenido educativo que define claramente las tres relaciones trigonométricas fundamentales. Además, los módulos de ejercicios se enfocan en que el estudiante identifique y aplique $\sin(\theta)$, $\cos(\theta)$ y $\tan(\theta)$ para la resolución de triángulos.
M.4.2.17.	Resolver y plantear problemas que involucren triángulos rectángulos en contextos reales, e interpretar y juzgar la validez de las soluciones obtenidas dentro del contexto del problema.		La IA está instruida para generar problemas de aplicación contextualizados (ej. calcular la altura de un edificio, la longitud de una sombra, etc.). El andamiaje pedagógico de la aplicación, con su retroalimentación inmediata y explicaciones detalladas, guía al estudiante en la resolución e interpretación de los resultados en el contexto del problema planteado.

FUENTE: MINISTERIO DE EDUCACIÓN DEL ECUADOR (2016)

ELABORADO: Autor

ANEXO 2. INSTRUCCIONES ESTRUCTURADAS DE LA APLICACIÓN

Instrucción de validación de tema

La instrucción de validación mostrado en la figura implementa la fase inicial del modelo, conocida como el bucle de validación. A través de la ingeniería de instrucciones, se define el rol de la IA como un tutor de trigonometría, cuya tarea es determinar si la consulta del usuario es relevante para el dominio de las matemáticas. Esta instrucción obliga al sistema a generar una respuesta estructurada en formato JSON, garantizando una comunicación predecible y manejable. Al ser una consulta de bajo coste computacional, funciona como un filtro eficaz que optimiza los recursos y mantiene el enfoque pedagógico de la herramienta.

```
const validationPrompt = `Eres un asistente de IA para una aplicación de
tutoría de trigonometría. Tu tarea es validar si el tema de un usuario está
relacionado con la trigonometría o las matemáticas en general. Sé flexible y
permite temas matemáticos amplios (cálculo, álgebra, geometría), pero rechaza
temas que no estén relacionados (por ejemplo, historia, biología,
literatura).\n\n  Analiza el siguiente tema: \"${topic}\" \n\n  Responde
ÚNICAMENTE con un objeto JSON válido con la siguiente estructura. No incluyas
ninguna otra palabra o formato como \"json\" o \"\\\"\\\"`.
```

```
{
  \"is_relevant\": boolean,
  \"suggested_topics\": [\"tema1\", \"tema2\", \"tema3\"]
}
```

- \"is_relevant\" debe ser 'true' si el tema es de matemáticas o trigonometría, y 'false' si no lo es.
- \"suggested_topics\" debe ser un array con tres sugerencias de trigonometría si \"is_relevant\" es 'false'. Si es 'true', debe ser un array vacío.`;

Instrucción de generación de contenido educativo

Esta instrucción de generación de contenido es el núcleo del modelo y un ejemplo claro de ingeniería de instrucciones aplicada. Su función es traducir la estrategia pedagógica completa en una instrucción técnica y precisa para la inteligencia artificial. Exige una estructura didáctica de seis secciones, materializando el primer nivel del andamiaje pedagógico con soporte máximo. Además, obliga a la IA a devolver una respuesta estructurada en formato JSON, asegurando una comunicación predecible y fiable. Esta respuesta encapsula tanto el contenido de la lección como un cuestionario de evaluación, garantizando la consistencia del sistema.

```
const prompt = `Genera una página educativa completa sobre "${topic}" en español, dirigida a estudiantes de secundaria.
```

```
  Estructura del contenido:
```

1. ****Título Principal****: Usa un H1 (#) con el nombre del tema.
2. ****Introducción****: Usa un H2 (##). Escribe un párrafo (100-150 palabras) que explique qué es el tema, su importancia en trigonometría y una aplicación práctica para captar interés.
3. ****Conceptos Clave****: Usa un H2 (##). Proporciona una lista de 3-5 ideas principales en viñetas (* o -), con explicaciones claras y un breve ejemplo por concepto.
4. ****Fórmulas Importantes****: Usa un H2 (##). Muestra las fórmulas clave en bloques de código Markdown (````). Incluye una breve descripción de cada fórmula (su propósito y variables).
5. ****Ejemplo Resuelto****: Usa un H2 (##). Proporciona un problema resuelto paso a paso que aplique el tema, mostrando el razonamiento y cálculos.
6. ****Aplicaciones Prácticas****: Usa un H2 (##). Escribe un párrafo (50-100 palabras) sobre usos reales del tema (por ejemplo, en arquitectura, navegación).

Además del contenido, crea un quiz de 10 preguntas clave de opción múltiple basadas en el contenido que generaste. Cada pregunta debe tener 4 opciones. Para cada pregunta, proporciona una explicación detallada que aclare por qué la respuesta correcta es la correcta.

Tu respuesta DEBE ser un objeto JSON válido con la siguiente estructura. No incluyas ninguna otra palabra o formato como `"json"` o `````.

```
{
  "html": "...",
  "quiz": [
    {
      "question": "...",
      "options": [{ "text": "..."}],
      "correctAnswerIndex": 0,
      "explanation": "..."
    }
  ]
};
```

Instrucción de generación de ejercicios

Esta figura presenta la instrucción de generación de ejercicios, un componente esencial que ejecuta la fase de práctica dentro de la estrategia de andamiaje pedagógico. A través de una instrucción precisa, se solicita a la inteligencia artificial la creación de un ejercicio de opción múltiple, nuevo y diferente, sobre el tema en estudio.

Esta instrucción define el formato de la pregunta y las cuatro opciones de respuesta, y exige la inclusión de una explicación detallada, materializando el principio de retroalimentación inmediata. La directriz de entregar el resultado en un formato JSON estricto es fundamental, pues permite que la aplicación interprete y presente los ejercicios de manera consistente en los módulos de "práctica guiada" y "prueba tus conocimientos".

```
const exercisePrompt = `Crea un ejercicio de opción múltiple **NUEVO y DIFERENTE** sobre "${topic}" en español.${historyPrompt}
```

La pregunta debe ser relevante y de nivel de secundaria. Proporciona 4 opciones de respuesta (una correcta y tres incorrectas plausibles). Indica el índice de la respuesta correcta y una explicación clara y concisa de la solución.

Tu respuesta DEBE ser un objeto JSON válido con la siguiente estructura. No incluyas ninguna otra palabra o formato como `"json"` o `````.

```
{
  \"question\": \"El texto de la pregunta...\",
  \"options\": [
    { \"text\": \"Opción A\" },
    { \"text\": \"Opción B\" },
    { \"text\": \"Opción C\" },
    { \"text\": \"Opción D\" }
  ],
  \"correctAnswerIndex\": 2, // Índice de la respuesta correcta (0-3)
  \"explanation\": \"Una explicación detallada de por qué esa es la respuesta correcta.\"
};
```

Instrucción de aclaración sobre un ejercicio

La instrucción de aclaración, un componente clave para implementar la asistencia contingente dentro de la fase de práctica guiada del modelo. A diferencia de las instrucciones de generación, este está diseñado para una interacción dialógica y de apoyo. Su estructura pasa a la inteligencia artificial el contexto completo del ejercicio junto con la duda específica del estudiante. Las instrucciones son pedagógicamente restrictivas, se exige a la IA que responda de manera concisa, alentadora y, fundamentalmente, sin introducir conceptos nuevos, adhiriéndose así al principio de andamiaje de ofrecer solo el apoyo necesario. Esta instrucción demuestra la flexibilidad del modelo, cambiando el formato de respuesta de JSON a texto plano para facilitar una conversación natural y directa con el estudiante.

```
const prompt = `
    Eres un tutor de trigonometría amable y servicial. Un estudiante acaba
    de intentar resolver el siguiente ejercicio y tiene una pregunta. Tu tarea es
    responder a su pregunta de manera clara y concisa, basándote únicamente en el
    contexto del ejercicio proporcionado.

    **Contexto del Ejercicio:**
    - **Pregunta:** ${exercise.question}
    - **Opciones:** ${exercise.options.map((opt, i) =>
`${String.fromCharCode(65 + i)})} ${opt.text}`.join('\n')}
    - **Respuesta Correcta (Índice):** ${exercise.correctAnswerIndex}
    - **Explicación de la Solución:** ${exercise.explanation}

    **Pregunta del Estudiante:**
    "${userQuestion}"

    **Instrucciones:**
    1. Responde directamente a la pregunta del estudiante.
    2. Utiliza la explicación proporcionada como base para tu respuesta
    si es relevante.
    3. Sé alentador y positivo.
    4. No introduces conceptos nuevos que no estén directamente
    relacionados con la resolución de este problema específico.
    5. Tu respuesta debe ser solo texto, utilizando Markdown simple para
    formato si es necesario (negritas, listas). No uses JSON.
`;
```

ANEXO 3. RESPUESTAS ESTRUCTURADAS ESPERADAS.

Respuesta JSON de validar tema

A continuación, se presentan ejemplos concretos de las respuestas estructuradas en formato JSON que el sistema está diseñado para recibir de la Interfaz de Programación de Aplicaciones de la inteligencia artificial generativa. Estos ejemplos ilustran la aplicación práctica de la metodología de ingeniería de instrucciones descrita en el CAPÍTULO IV, específicamente en lo que respecta a la capa de formato, donde se exige una salida de datos consistente y predecible para garantizar el correcto funcionamiento de la aplicación web. Para contextualizar la funcionalidad del modelo cualitativo propuesto, las respuestas simuladas corresponden a la consulta de un usuario sobre el concepto trigonométrico de "radio", abarcando las distintas interacciones programadas, validación del tema, generación de contenido educativo y formulación de ejercicios.

```
{
  "is_relevant": true,
  "suggested_topics": []
}
```

Respuesta JSON de generar contenido educativo

```
{
  "html": "# El Radio\n\n## Introducción\nEl radio es uno de los conceptos más fundamentales en geometría y, por extensión, en trigonometría. Se define como el segmento de línea que une el centro de un círculo con cualquier punto de su circunferencia. Su longitud es una medida clave que determina el tamaño completo del círculo. Comprender el radio es esencial porque es la base para calcular otras propiedades importantes como el diámetro, la circunferencia y el área. En trigonometría, el radio juega un papel estelar en la definición del \"círculo unitario\", una herramienta que permite extender las funciones trigonométricas (seno, coseno, tangente) a todos los números reales. Una aplicación práctica inmediata se observa en el diseño de cualquier objeto circular, desde una rueda de bicicleta hasta las aspas de una turbina eólica, donde el radio define su alcance y funcionalidad.\n\n## Conceptos Clave\n*Definición Fundamental*: El radio (simbolizado como 'r') es la distancia constante desde el centro de un círculo hasta cualquier punto en su borde o circunferencia. Todos los radios de un mismo círculo tienen la misma longitud.\n*Relación con el Diámetro*: El diámetro ('d') de un círculo es la distancia que pasa por el centro y une dos puntos opuestos de la circunferencia. El radio es exactamente la mitad del diámetro ( $r = d / 2$ ). Por ejemplo, si una pizza tiene un diámetro de 30 cm, su radio es de 15 cm.\n*El Círculo Unitario*: En trigonometría, el círculo unitario es un círculo
```

con un radio de exactamente 1 unidad ($r=1$). Esta simplificación es crucial porque permite que las coordenadas de cualquier punto en la circunferencia correspondan directamente a los valores del coseno y el seno del ángulo formado desde el origen.

Constructor del Círculo: Se puede pensar en el radio como el "generador" del círculo. Si se fija un punto como centro y se hace girar un segmento de longitud 'r' alrededor de él, el extremo móvil dibujará la circunferencia del círculo.

Fórmulas Importantes

Circunferencia (C): Esta fórmula calcula la longitud del perímetro del círculo. 'pi' (π) es una constante aproximadamente igual a 3.14159, y 'r' es el radio.

$$C = 2 * \pi * r$$

Área (A): Permite calcular la superficie total contenida dentro del círculo. Se obtiene multiplicando pi por el cuadrado de la longitud del radio.

$$A = \pi * r^2$$

Diámetro (d): Relaciona directamente el diámetro con el radio, mostrando que el diámetro es siempre el doble que el radio.

Ejemplo Resuelto

Problema: Calcular el área de un jardín circular que tiene un radio de 5 metros.

1. **Identificar la fórmula necesaria**: Para calcular la superficie, se necesita la fórmula del área: $A = \pi * r^2$.

2. **Identificar los datos proporcionados**: Se sabe que el radio (r) es de 5 metros.

3. **Sustituir el valor en la fórmula**: $A = \pi * (5 \text{ m})^2$.

4. **Realizar el cálculo**: $A = \pi * 25 \text{ m}^2$.

5. **Obtener el resultado final**: $A \approx 78.54 \text{ m}^2$. El área del jardín circular es de aproximadamente 78.54 metros cuadrados.

Aplicaciones Prácticas

El concepto del radio es vital en numerosos campos. En ingeniería y diseño mecánico, se utiliza para crear engranajes, rodamientos y cualquier pieza que rote. En arquitectura, el radio es fundamental para diseñar cúpulas, arcos y estructuras curvas, garantizando su simetría y estabilidad. En navegación y astronomía, los cálculos de órbitas y trayectorias circulares se basan en la determinación precisa de sus radios para predecir posiciones y distancias en el espacio.

```
"quiz": [
  {
    "question": "¿Cuál es la definición correcta del radio de un círculo?",
    "options": [
      { "text": "La distancia total alrededor del círculo." },
      { "text": "La distancia desde el centro a cualquier punto de la circunferencia." },
      { "text": "Una línea que cruza el círculo pasando por el centro." },
      { "text": "La superficie contenida dentro de la circunferencia." }
    ],
    "correctAnswerIndex": 1,
    "explanation": "El radio se define como el segmento de línea que va desde el centro del círculo hasta cualquier punto en su borde o circunferencia."
  },
  {
    "question": "Si el diámetro de una rueda es de 60 cm, ¿cuál es su radio?",
    "options": [
```

```

    { "text": "60 cm" },
    { "text": "120 cm" },
    { "text": "30 cm" },
    { "text": "90 cm" }
  ],
  "correctAnswerIndex": 2,
  "explanation": "El radio es siempre la mitad del diámetro. Por lo tanto, si el diámetro es 60 cm, el radio es  $60 / 2 = 30$  cm."
},
{
  "question": "¿Qué fórmula se utiliza para calcular la circunferencia de un círculo usando su radio 'r'?",
  "options": [
    { "text": " $A = \pi * r^2$ " },
    { "text": " $C = \pi * d$ " },
    { "text": " $C = 2 * \pi * r$ " },
    { "text": " $d = 2 * r$ " }
  ],
  "correctAnswerIndex": 2,
  "explanation": "La fórmula para la circunferencia (la distancia alrededor del círculo) es  $C = 2 * \pi * r$ ."
},
{
  "question": "En el contexto de la trigonometría, ¿cuál es la longitud del radio de un 'círculo unitario'?",
  "options": [
    { "text": " $\pi$  unidades" },
    { "text": "2 unidades" },
    { "text": "0 unidades" },
    { "text": "1 unidad" }
  ],
  "correctAnswerIndex": 3,
  "explanation": "El círculo unitario es una herramienta fundamental en trigonometría y, por definición, siempre tiene un radio de longitud 1."
},
{
  "question": "Para calcular el área de un círculo, ¿qué propiedad del radio se utiliza en la fórmula?",
  "options": [
    { "text": "El doble del radio" },
    { "text": "La mitad del radio" },
    { "text": "El radio al cuadrado" },
    { "text": "La raíz cuadrada del radio" }
  ],
  "correctAnswerIndex": 2,
  "explanation": "La fórmula del área es  $A = \pi * r^2$ . Esto significa que se utiliza el radio multiplicado por sí mismo, es decir, el radio al cuadrado."
}

```

```

    },
    {
      "question": "Si todos los radios de un círculo son iguales, ¿qué implica esto?",
      "options": [
        { "text": "Que el círculo es un polígono." },
        { "text": "Que la distancia del centro al borde es siempre constante." },
        { "text": "Que el círculo no tiene centro." },
        { "text": "Que el diámetro puede variar." }
      ],
      "correctAnswerIndex": 1,
      "explanation": "La propiedad fundamental de un círculo es que cada punto de su circunferencia está a la misma distancia del centro, y esa distancia es el radio."
    },
    {
      "question": "¿Cuál es la relación entre el radio (r) y el diámetro (d)?",
      "options": [
        { "text": " $r = 2 * d$ " },
        { "text": " $r = d / 2$ " },
        { "text": " $r = d^2$ " },
        { "text": " $r = \pi * d$ " }
      ],
      "correctAnswerIndex": 1,
      "explanation": "El radio es la mitad del diámetro. Por lo tanto, para encontrar el radio, se divide el diámetro entre 2."
    },
    {
      "question": "Un aspersor de jardín riega en un patrón circular con un radio de 3 metros. ¿Qué área de césped cubre? (Usa  $\pi \approx 3.14$ )",
      "options": [
        { "text": "9.42 m²" },
        { "text": "18.84 m²" },
        { "text": "28.26 m²" },
        { "text": "3.14 m²" }
      ],
      "correctAnswerIndex": 2,
      "explanation": "Se usa la fórmula del área  $A = \pi * r^2$ . Sustituyendo los valores:  $A \approx 3.14 * (3 \text{ m})^2 = 3.14 * 9 \text{ m}^2 = 28.26 \text{ m}^2$ ."
    },
    {
      "question": "En arquitectura, el radio es fundamental para diseñar:",
      "options": [
        { "text": "Paredes rectas y rectangulares." },
        { "text": "Cimientos cuadrados." },
        { "text": "Estructuras triangulares." }
      ]
    }
  ]
}

```

```

      { "text": "Cúpulas y arcos." }
    ],
    "correctAnswerIndex": 3,
    "explanation": "Las cúpulas, arcos y otras estructuras curvas se basan
geométricamente en secciones de círculos, por lo que el radio es una medida
esencial para su diseño."
  },
  {
    "question": "¿Qué elemento es conocido como el 'generador' de un
círculo?",
    "options": [
      { "text": "La tangente" },
      { "text": "El diámetro" },
      { "text": "El radio" },
      { "text": "La cuerda" }
    ],
    "correctAnswerIndex": 2,
    "explanation": "El radio puede considerarse el 'generador' porque al
rotar un segmento de esta longitud alrededor de un punto central, se forma la
circunferencia del círculo."
  }
]
}

```

Un ejemplo completo de la respuesta estructurada en formato JSON que la inteligencia artificial genera como resultado de la instrucción de generación de contenido. Esta salida es la materialización del principio fundamental del modelo cualitativo, la separación estricta entre la generación de contenido y su presentación. Se puede observar que la respuesta se organiza en dos claves principales: "html", que contiene la lección teórica completa en formato markdown, y "quiz", un arreglo de objetos que detalla las preguntas de opción múltiple con sus respectivas explicaciones. Este formato predecible y consistente es crucial, ya que permite que el componente renderizador de vista de la aplicación interprete y muestre la información al estudiante de manera fiable y pedagógicamente coherente.

Respuesta JSON de generar ejercicios

```
{
  "question": "Una escalera de 13 metros de largo se apoya contra una pared vertical. Si la base de la escalera está a 5 metros de la base de la pared, ¿a qué altura de la pared llega la parte superior de la escalera?",
  "options": [
    {
      "text": "8 metros"
    },
    {
      "text": "18 metros"
    },
    {
      "text": "14 metros"
    },
    {
      "text": "12 metros"
    }
  ],
  "correctAnswerIndex": 3,
  "explanation": "Este problema forma un triángulo rectángulo donde la escalera es la hipotenusa (c), la distancia de la base de la pared es un cateto (a) y la altura en la pared es el otro cateto (b). Se usa el Teorema de Pitágoras:  $a^2 + b^2 = c^2$ . Sustituyendo los valores conocidos:  $5^2 + b^2 = 13^2$ . Esto se convierte en  $25 + b^2 = 169$ . Para encontrar  $b^2$ , restamos 25 de 169, lo que da  $b^2 = 144$ . Finalmente, calculamos la raíz cuadrada de 144, que es 12. Por lo tanto, la escalera llega a una altura de 12 metros."
}
```

La respuesta estructurada que el núcleo de generación del modelo produce al ser invocado con la instrucción de ejercicios. El objeto JSON contiene todos los elementos requeridos para un ciclo de práctica interactiva, el enunciado de un problema contextualizado, un arreglo con las posibles respuestas, el índice de la opción correcta y, de manera crucial, una explicación detallada que fundamenta la solución. La inclusión de esta clave "explanation" es la implementación directa del requisito de retroalimentación detallada del modelo, esencial para el andamiaje pedagógico. Este formato de datos predecible y completo permite al renderizador de vista de la aplicación construir la interfaz del ejercicio de manera consistente y fiable.

ANEXO 4. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS: CUESTIONARIO DE VALIDACIÓN Y USABILIDAD (TRIGTUTOR IA)

Objetivo: Recopilar la percepción de los estudiantes sobre la pertinencia pedagógica del modelo de IA generativa (validación cualitativa) y la facilidad de uso (usabilidad) de la aplicación web "TrigTutor IA".

Población: Estudiantes de Décimo Año de EGB, paralelos 'C' y 'D', de la Escuela de Educación Básica "Víctor Manuel Rendón".

Instrucciones: El cuestionario consta de dos secciones. Lea detenidamente cada pregunta y responda con la mayor sinceridad posible.

Sección 1: Cuestionario Cualitativo (Validación del Modelo)

Las siguientes preguntas son para saber qué tan bien le ayudaron a aprender las funciones especiales de 'TrigTutor IA'.

1. Sobre la Guía del Tutor: Cuando el 'chat' le dijo que un tema no era de trigonometría y le dio otras sugerencias, ¿cómo le pareció esa respuesta?

Respuesta:

2. Sobre el Contenido: Cuando recibió la lección (con Título, Introducción, Fórmulas y Ejemplo Resuelto), ¿qué tan ordenada le pareció esa información para poder aprender?

Respuesta:

3. Sobre la Práctica: En la "Práctica Guiada", ¿qué tan útil fue recibir la explicación (de "Correcto" o "Incorrecto") *inmediatamente* después de cada ejercicio?

Respuesta:

4. Sobre la Autonomía: ¿Le pareció útil que hubiera una diferencia entre la "Práctica Guiada" (que da ayuda inmediata) y la "Prueba tus Conocimientos" (que da ayuda solo al final)?

Respuesta:

Sección 2: Escala de Usabilidad del Sistema (SUS)

A continuación, se evaluará la facilidad de uso de la aplicación 'TrigTutor IA'. Para cada una de las siguientes frases, marque la opción que mejor indique su opinión sobre la aplicación que acaba de utilizar.

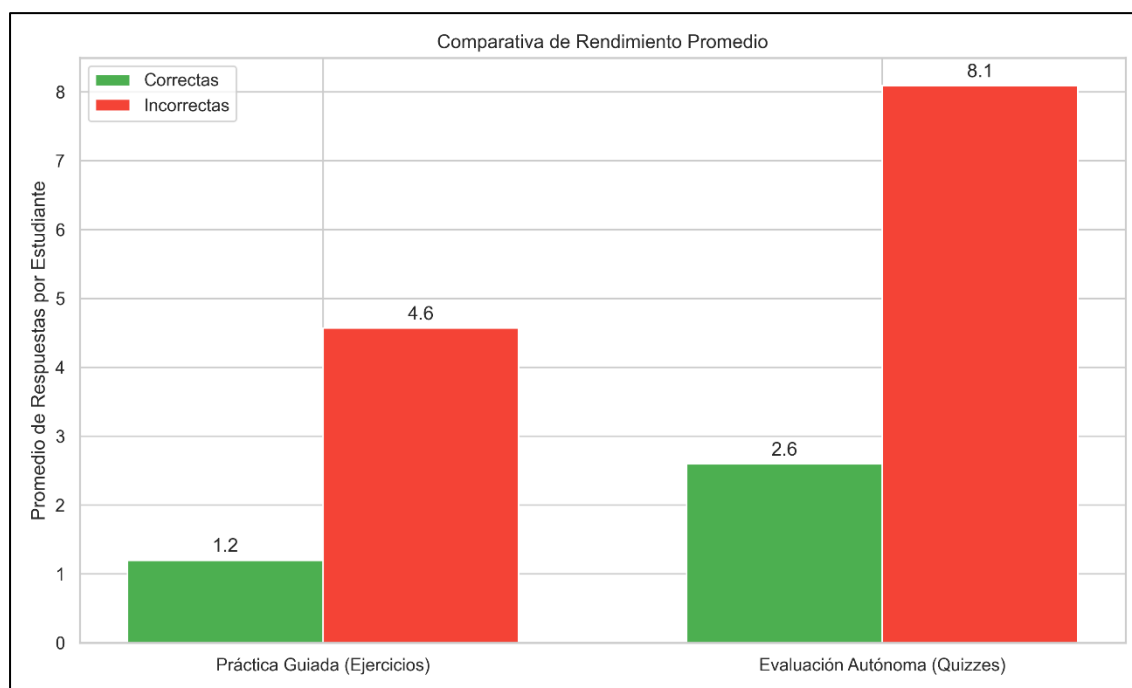
- 1. Creo que me gustaría usar esta aplicación seguido. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 2. La aplicación me pareció más complicada de lo necesario. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 3. Pensé que la aplicación era fácil de usar. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 4. Creo que necesitaría ayuda de alguien con conocimientos técnicos para poder usar esta aplicación. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 5. Me pareció que todas las partes de la aplicación funcionaban bien juntas. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 6. Pensé que la aplicación tenía muchas cosas que no cuadraban (inconsistencias). (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 7. Me imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar esta aplicación muy rápido. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 8. La aplicación me pareció muy difícil de usar. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 9. Me sentí muy confiado (seguro de mí mismo) usando la aplicación. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**
- 10. Tuve que aprender muchas cosas nuevas antes de poder usar esta aplicación. (1) Totalmente en desacuerdo (2) (3) (4) (5) Totalmente de acuerdo**

ANEXO 5. DATOS RECOLECTADOS DE LA APLICACIÓN.

Este anexo presenta la evidencia empírica recolectada directamente de la base de datos de "TrigTutor IA" durante el periodo de validación con los estudiantes (\$N \approx 63\$). Los datos analíticos permiten objetivar el comportamiento de los usuarios y validar la eficacia del modelo cualitativo propuesto.

Figura 24.

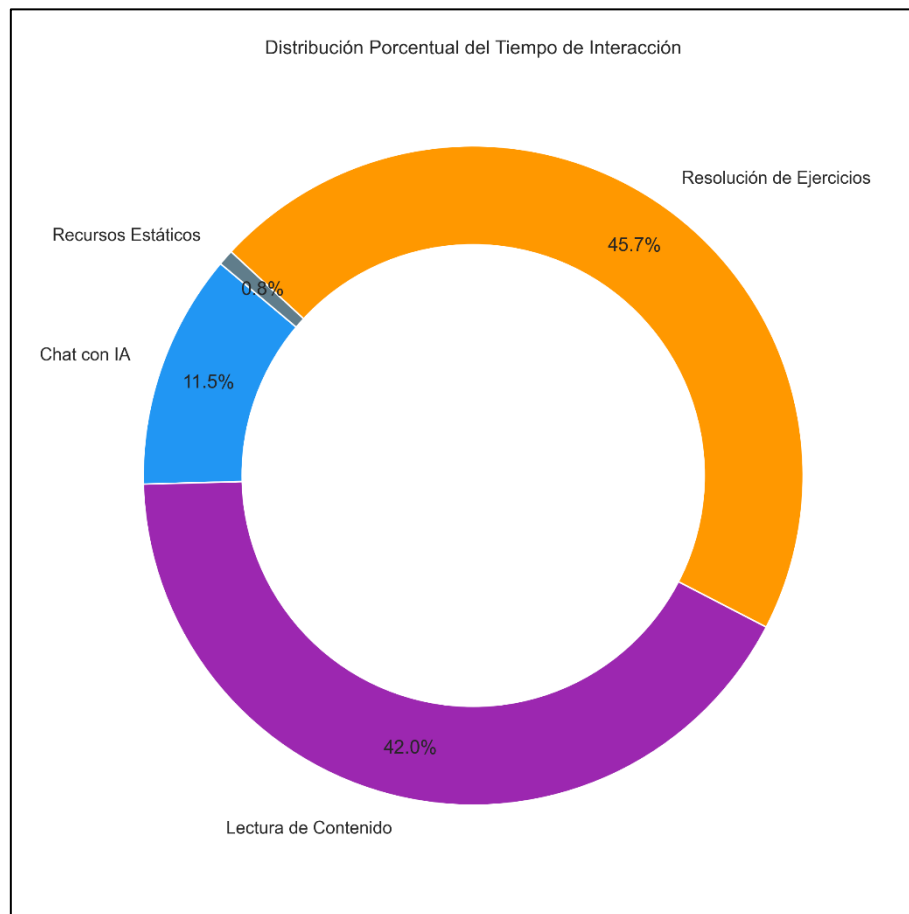
Comparativa de rendimiento promedio: práctica guiada vs. Evaluación autónoma.



El gráfico de barras ilustra la evolución del desempeño estudiantil a través de las fases del andamiaje pedagógico. En la etapa de práctica guiada, se observa una mayor incidencia de respuestas incorrectas, lo cual es consistente con un proceso de aprendizaje activo donde el error se utiliza como oportunidad pedagógica mediante la retroalimentación inmediata de la IA.

Figura 25.

Distribución Porcentual del Tiempo de Interacción por Módulo.



El análisis del tiempo de permanencia revela que el módulo de resolución de ejercicios concentra la mayor parte de la actividad de los usuarios, confirmando el enfoque práctico de la herramienta. La interacción significativa con los módulos de lectura de contenido y chat con IA demuestra que los estudiantes recurrieron activamente a los recursos teóricos y de asistencia para resolver dudas, validando el flujo de interacción diseñado en el modelo cualitativo.

ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA VALIDACIÓN EMPÍRICA

Sesión de socialización en el aula, donde se expusieron las funcionalidades de la aplicación 'TrigTutor IA' y se instruyó a los estudiantes sobre la metodología de interacción con el asistente virtual.

Ilustración 26.
Socialización grupal.



Ilustración 27.
Socialización personalizada.

