



Resultado de las pruebas de sistema Chatbot para la enseñanza de matemáticas

Results of chatbot system tests for teaching mathematics

Aldair Rufino Toribio Olmedo¹

atoribioo@alumno.uaemex.mx

ORCID: 0009-0003-7798-3674

Marco Alberto Mendoza Pérez

mamendozap@uaemex.mx

ORCID: 0000-0003-4911-4757

Cristina Juárez Landín

cjuarezl@uaemex.mx

ORCID: 0000-0002-0988-3060

Juvenal Rueda Paz

jruedap@uaemex.mx

ORCID: 0000-0001-5181-3093

¹ Autores de la Maestría en Ciencias de la Computación, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, Universidad Autónoma del Estado de México.



Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la usabilidad y funcionalidad de un chatbot educativo diseñado para apoyar la enseñanza de matemáticas, orientado en apoyo de personas que están cursando el nivel medio superior o que quieren prepararse para el examen Acredita-Bach en el área de matemáticas. El sistema fue diseñado como un tutor inteligente capaz de proporcionar acompañamiento personalizado, retroalimentación inmediata y recursos adaptativos a través de técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) e inteligencia artificial generativa. La validación del sistema se llevó a cabo mediante un enfoque iterativo, en dos fases: una prueba alfa, realizada con 16 usuarios cercanos y tester de aplicaciones expertos, que permitió identificar y corregir errores funcionales y de interfaz; y una prueba beta, aplicada a 42 estudiantes de sexto semestre de bachillerato de la preparatoria oficial EPO 29 en Tepetlixpa, Estado de México que al finalizar, los estudiantes completaron una encuesta en escala de Likert, obteniéndose puntuaciones promedio entre 3.4 y 3.9 sobre 5, lo que indica una evaluación mayoritariamente positiva. Los resultados validaron el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto y confirmaron las hipótesis planteadas, entre ellas: que el uso del chatbot mejora el desempeño en matemáticas, incrementa la motivación de los usuarios y permite un estudio más eficiente y flexible. Este trabajo sienta las bases para la expansión de MATHBOT como herramienta accesible y escalable en entornos de educación abierta y virtual.

Palabras clave: Chatbot, Pruebas Alfa, Pruebas Beta, Inteligencia Artificial, Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN).



Abstract

The present study aimed to evaluate the usability and functionality of an educational chatbot designed to support the teaching of mathematics, aimed at assisting individuals who are currently enrolled in upper secondary education or who wish to prepare for the Acredita-Bach exam in the area of mathematics. The system was designed as an intelligent tutor capable of providing personalized support, immediate feedback, and adaptive resources through natural language processing (NLP) techniques and generative artificial intelligence. The system was validated through an iterative approach in two phases: an alpha test conducted with 16 close users and expert application testers, which allowed for the identification and correction of functional and interface errors; and a beta test applied to 42 sixth-semester high school students from the official high school EPO 29 in Tepetlixpa, State of Mexico. At the end of the test, students completed a Likert scale survey, yielding average scores between 3.4 and 3.9 out of 5, indicating a predominantly positive evaluation. The results validated the achievement of the project's specific objectives and confirmed the proposed hypotheses, including that the use of the chatbot improves performance in mathematics, increases user motivation, and enables more efficient and flexible study. This work lays the foundation for the expansion of MATHBOT as an accessible and scalable tool in open and virtual education environments.

Keywords: Chatbot, Alpha testing, Beta testing, Generative artificial intelligence, Functional testing, Natural Language Processing (NLP).



Fecha de envío: 20/05/2025

Fecha de aprobación: 18/08/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025

Introducción

La incorporación de inteligencia artificial en la educación ha generado nuevas oportunidades para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, especialmente en disciplinas complejas como las matemáticas. En este contexto, los chatbots emergen como herramientas prometedoras al ofrecer tutoría personalizada, retroalimentación inmediata y disponibilidad continua (Wehr y Baluis, 2023; Mazón, 2021). Investigaciones previas han demostrado su eficacia como tutores inteligentes, capaces de adaptarse al ritmo del estudiante y reforzar contenidos de forma efectiva (Castillo y Aguilar, 2021; Moral-Sánchez et al., 2023). Sin embargo, estudios como el de Toribio y Mendoza (2024) han señalado una carencia significativa en el uso de chatbots para la enseñanza de matemáticas en el nivel medio superior, identificando así un vacío relevante en la literatura (Estrada-Molina, 2024; Son et al., 2024).

Este trabajo responde a dicha brecha mediante el diseño y validación de MathBot, un chatbot educativo basado en inteligencia artificial, orientado a apoyar a estudiantes que se preparan para el examen Acredita-Bach. El sistema fue desarrollado con metodología RAD, utilizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural, una arquitectura de red neuronal tipo Seq2Seq con LSTM bidireccional y mecanismos de atención. La validación se realizó a través de pruebas alfa y beta, así como encuestas tipo Likert aplicadas a usuarios reales. El estudio busca responder si un tutor inteligente puede mejorar la comprensión de conceptos matemáticos en este perfil de



estudiantes, y sus resultados respaldan la hipótesis de que el uso de chatbots incrementa tanto el rendimiento como el compromiso académico, ofreciendo una base sólida para su implementación a mayor escala.

Trabajos relacionados

Evolución histórica de los chatbots en la educación

Los agentes conversacionales surgieron en la década de 1960 con ELIZA, pionero en la simulación del lenguaje humano (Weizenbaum, 1966). Modelos posteriores como PARRY y ALICE mejoraron la estructura del diálogo, aunque aún sin comprensión contextual. La incorporación del procesamiento de lenguaje natural (PLN) y de modelos de aprendizaje profundo como las redes neuronales recurrentes (RNN) y LSTM marcó una evolución significativa, permitiendo a los chatbots interpretar intenciones y generar respuestas coherentes (Mazón, 2021; Wehr & Baluis, 2023). Estos avances han facilitado su aplicación en diversos sectores, incluyendo la educación.

Chatbots impulsados por inteligencia artificial generativa

Aunque sus fundamentos no son recientes, las aplicaciones de Inteligencia Artificial Generativa han cobrado gran relevancia en 2023. Estas tecnologías son capaces de producir contenido como texto, imágenes o software con calidad comparable a la creación humana, a partir del aprendizaje de patrones en grandes volúmenes de datos, usualmente mediante aprendizaje no supervisado. Su



funcionamiento se basa en responder a instrucciones dadas en lenguaje natural, también conocidas como *prompts* (Corredera, 2023).

Características de IA Generativa en MathBot

MathBot se basa en una arquitectura generativa tipo *seq2seq* con LSTM y mecanismos de atención, lo que le permite generar respuestas contextualizadas en lugar de recuperar respuestas predefinidas. Esta configuración es común en modelos generativos de texto y facilita la producción de explicaciones matemáticas coherentes y adaptadas a cada consulta. Una de sus características distintivas es el uso de atención aditiva, que mejora la precisión al enfocarse en partes relevantes de la entrada. El sistema fue entrenado con un corpus de 500,000 ejemplos de preguntas y respuestas matemáticas, lo que le permitió aprender patrones y generar contenido basado en ese aprendizaje, aunque el proceso de entrenamiento continúa. Si bien estas tecnologías han sido ampliamente aplicadas en áreas como lenguas, historia y ciencias sociales, su aplicación en matemáticas enfrenta retos particulares, como la representación simbólica y la explicación detallada de procesos, lo que ha motivado el uso de enfoques especializados como el de arquitecturas *Seq2Seq* con atención para generar respuestas paso a paso (Son et al., 2024).

Aplicaciones de chatbots en el aprendizaje de matemáticas

Aunque aún incipiente, el uso de chatbots en el ámbito matemático ha mostrado resultados prometedores. Estudios recientes evidencian que los estudiantes valoran herramientas que permiten resolver dudas, ofrecer ejercicios personalizados y proporcionar retroalimentación



automática (Moral-Sánchez et al., 2023). Sin embargo, la mayoría de estas soluciones están dirigidas a estudiantes en trayectoria regular, sin considerar las necesidades particulares de quienes han interrumpido sus estudios. Este grupo enfrenta obstáculos adicionales como limitaciones de tiempo, barreras tecnológicas y baja autoestima académica, lo cual demanda enfoques educativos más inclusivos y adaptativos.

Vacíos identificados en el contexto mexicano

Toribio y Mendoza (2024), en su revisión del estado del arte, evidencian la falta de chatbots educativos específicamente diseñados para apoyar la preparación del examen Acredita-Bach, una evaluación oficial en México para certificar el nivel medio superior. Aunque existen desarrollos internacionales avanzados, la mayoría no se adapta al currículo ni al contexto lingüístico nacional. Asimismo, identifican que pocos modelos integran inteligencia artificial generativa o aplican metodologías iterativas centradas en el usuario, lo que refuerza la necesidad de desarrollar soluciones pedagógicas contextualizadas y accesibles para la población mexicana.

Materiales y métodos

Diseño del estudio

El presente estudio se orienta al diseño, validación y mejora de una solución tecnológica mediante un enfoque iterativo, aplicando pruebas funcionales y no funcionales. Se adoptó la metodología RAD (Rapid Application Development), la cual favorece la construcción ágil de prototipos, la



retroalimentación continua del usuario y la optimización progresiva del sistema. El diseño contempló tres etapas principales:

1. Diseño e implementación del chatbot “MathBot”, integrando técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN), generación de respuestas contextuales y funcionalidades adaptativas alineadas con el contenido matemático del examen Acredita-Bach.
2. Pruebas Alfa, enfocadas en la detección temprana de errores y en el ajuste de funcionalidades clave. Se aplicó una matriz de pruebas basada en la metodología del International Software Testing Qualifications Board (ISTQB), clasificando los casos de prueba según su prioridad (alta, media o baja), como se ejemplifica en la Tabla 1.

ID	Caso de Prueba	Descripción	Pasos de Prueba	Resultado Esperado	Prioridad
BF-001	Sesión completa de estudio	Verificar que el sistema soporta una sesión completa de estudio de matemáticas	1. Iniciar sesión	Flujo completo sin errores, con progreso guardado correctamente	Alta
			2. Revisar temas recomendados		
			3. Estudiar un concepto nuevo		
			4. Realizar ejercicios de práctica		
			5. Revisar progreso		

Tabla 1. Matriz de pruebas funciones casos con prioridad alta



- Matriz de pruebas no funcionales, los casos de pruebas se clasificaron en prioridades Baja, Media y Alta véase en la tabla 2 el formato y algunos de los casos con prioridad alta y el formato de la matriz:

ID	Caso de Prueba	Descripción	Pasos de Prueba	Resultado Esperado	Prioridad
BNF-001	Carga sostenida	Verificar	1. Simular 30		Alta
		rendimiento bajo	usuarios activos	Degradación de	
		carga sostenida	2. Mantener carga	rendimiento <	
		durante periodos	durante 48 horas	10% después de	
		prolongados	3. Monitorear	48 horas	
			rendimiento		

Tabla 2. Matriz de prueba no funcionales casos con prioridad alta

Como población del estudio para las pruebas Alfa, participaron 16 usuarios, distribuidos en tres grupos (ver tabla 3):

Tipo de Participante	Cantidad	Porcentaje
Familiares y amigos	12	75%
Tester Profesional	1	6.25%
Docente Supervisor	3	18.75%
Total	16	100%

Tabla 3. Participantes Pruebas Alfa



3. Fase Beta: participaron 42 estudiantes del sexto semestre de la Preparatoria Oficial EPO 29, ubicada en el municipio de Tepetlixpa, Estado de México. Todos ellos utilizaron el sistema en sesiones individuales controladas y posteriormente respondieron un cuestionario de satisfacción con 7 preguntas (Ver tabla 4).

Preguntas realizadas	
1	La interfaz de MATHBOT es intuitiva y fácil de usar.
2	El chatbot de matemáticas responde con precisión a mis preguntas.
3	Los cuestionarios de práctica me ayudan a reforzar mis conocimientos matemáticos.
4	La función de descarga de PDF es útil para revisar mi historial de respuestas correctas.
5	El "Mi avance" proporciona información valiosa sobre mi progreso de aprendizaje.
6	La plataforma funciona correctamente sin errores técnicos significativos.
7	Recomendaría MATHBOT a otros estudiantes que necesiten ayuda con matemáticas.

Tabla 4: Preguntas de encuesta realizada a estudiantes

Entorno

Las pruebas alfa se realizaron en entornos controlados (hogar, escuela, consultoría de software), mientras que las pruebas beta se llevaron a cabo en un aula escolar en la preparatoria mencionada.



El chatbot fue desplegado en la web, accesible desde navegadores en computadoras y dispositivos móviles, en la URL: <https://mathbot-mocha.vercel.app>

Intervención y herramientas tecnológicas

MathBot se fundamenta en técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP) y aprendizaje profundo, utilizando una arquitectura Sequence-to-Sequence (Seq2Seq) con codificador y decodificador basados en LSTM bidireccionales. Esta elección responde a tres ventajas clave para el dominio matemático: preservación del orden lógico de operaciones, capacidad para manejar secuencias de entrada y salida de diferente longitud, y retención de contexto global necesario para la comprensión de conceptos. El enfoque híbrido incorpora mecanismos de atención que optimizan la generación de respuestas claras y contextualizadas. Esta estructura es especialmente adecuada para transformar preguntas en lenguaje natural en explicaciones estructuradas y coherentes, como lo respaldan Ardila (2024) y Muñoz et al. (2019).

El diseño arquitectónico incorpora elementos clave del aprendizaje profundo optimizados para el lenguaje matemático. En primer lugar, se emplea una representación vectorial densa de 256 dimensiones, seleccionada tras comparar su desempeño con otras configuraciones (128 y 512), logrando un equilibrio entre eficiencia, precisión semántica y capacidad de generalización. En cuanto a la codificación secuencial, se implementaron capas LSTM bidireccionales para captar dependencias tanto hacia adelante como hacia atrás, lo cual es esencial en la interpretación de estructuras matemáticas complejas. Estas redes ayudan a mitigar el problema del desvanecimiento del gradiente y permiten conservar información relevante a lo largo de secuencias largas. La

arquitectura incluye una capa bidireccional para extraer patrones locales y una capa unidireccional adicional para abstracción contextual, cada una con 256 unidades.

Finalmente, se incorpora un **mecanismo de atención aditiva**, el cual permite al modelo enfocar dinámicamente partes relevantes de la entrada durante la generación de la salida, aspecto crucial para ofrecer explicaciones paso a paso. Este enfoque mejora significativamente la precisión contextual y la calidad de las respuestas generadas, como lo respaldan Juárez (2022). Véase ilustración 1 para interpretar el flujo del cálculo de atención en el chatbot matemático:

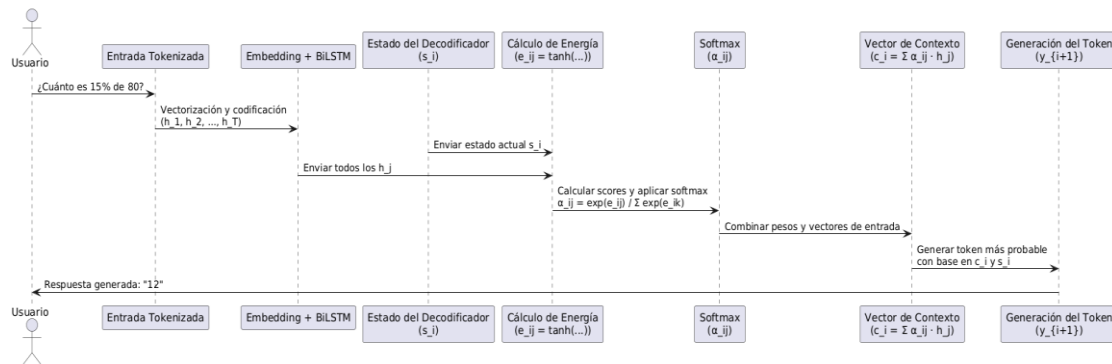


Ilustración 1: Diagrama de uso cálculo de atención

El desarrollo de backend como de frontend y base de datos de ocuparon las siguientes herramientas para una arquitectura tecnológica moderna que integra procesamiento del modelo en Python y TensorFlow, un frontend interactivo en Next.js y React, y visualización con Recharts y D3.js. El procesamiento del lenguaje natural se optimizó con spaCy y el modelo T5, mientras que la autenticación se gestionó con NextAuth.js y los datos se almacenaron en MySQL.



Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la encuesta tipo Likert (escala de 1 a 5) aplicada al finalizar las pruebas beta fueron procesados según las preguntas en la tabla 4. Se calcularon medias aritméticas por pregunta para determinar el nivel de satisfacción general y la percepción de utilidad, usabilidad y funcionalidad del sistema. La puntuación promedio osciló entre 3.4 y 3.9 puntos.

Resultados

El hallazgo principal del estudio fue que el uso del chatbot MathBot resultó útil y funcional como herramienta de apoyo en la enseñanza de matemáticas, especialmente para estudiantes que buscan acreditar el nivel medio superior mediante el examen Acredita-Bach, validando así los objetivos del proyecto y la hipótesis principal.

Resultados de la fase alfa

Durante la fase de pruebas alfa, en la que participaron 16 usuarios (ver Tabla 3 en la sección de Métodos), se evaluó el comportamiento inicial del sistema, identificando aspectos clave para mejorar su funcionamiento. Entre los problemas detectados se incluyeron:

- Funcionamiento de aplicación en modulo “Acerca de” para usuarios nuevos.
- Ausencia de retroalimentación en respuestas correctas, ahora se coloca la justificación en las respuestas correctamente contestadas.

- Falta de opción para descargar cuestionarios en PDF: se implementó botón para descarga de respuestas correctas contestadas para estudios offline.
- Dificultad para recuperar contraseña desde la interfaz inicial, se añadió un botón de recuperación de contraseña donde se tienen un tiempo de 30 segundos para el proceso, véase instrucciones en ilustración 2

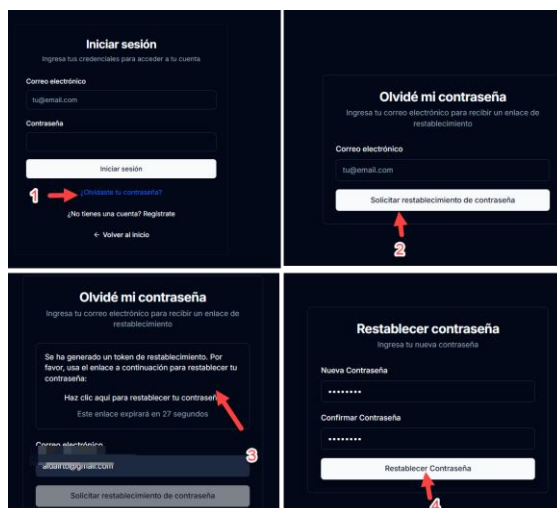


Ilustración 2: Recuperación de contraseña.

Estas observaciones fueron implementadas antes del inicio de la fase beta. A pesar de estos ajustes necesarios, los usuarios coincidieron en resaltar la facilidad de uso, la interfaz intuitiva y la coherencia de las respuestas generadas. Esta retroalimentación positiva confirmó la solidez del diseño técnico y validó el enfoque planteado de los diseños de casos de prueba diseñados según ISTQB (2018).



Resultados de la fase beta

En la fase beta participaron 42 estudiantes de sexto semestre de la Preparatoria Oficial EPO 29. Los alumnos utilizaron el chatbot en condiciones reales de aula durante sesiones controladas. Al finalizar, completaron una encuesta de 7 ítems en escala de Likert (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo), evaluando aspectos como utilidad, facilidad de uso, adaptabilidad y confianza generada por el sistema.

El promedio general de respuestas osciló entre 3.4 y 3.9 puntos, lo que refleja una valoración mayoritariamente positiva de la experiencia mostrada en Ilustración 3.

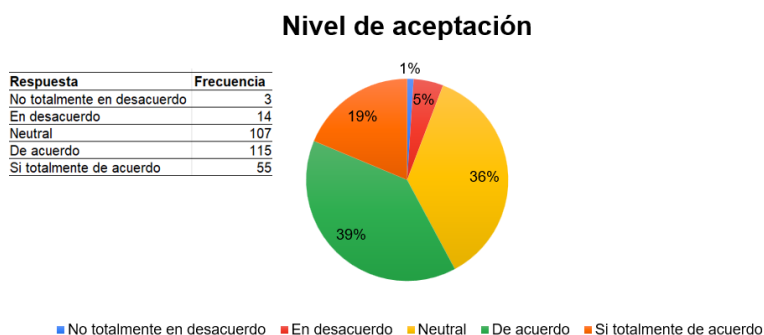


Ilustración 3: promedio general de aceptación.

Entre los resultados más destacados:

- El ítem con mayor puntuación fue “La plataforma me ayudó a entender temas que no comprendía previamente”, lo que respalda la hipótesis de impacto positivo en el aprendizaje.



- El ítem con menor puntuación fue “El sistema respondió todas mis dudas sin errores” ($M = 3.4$), lo que indica áreas de mejora en la generación de respuestas en casos específicos.
- Un 84% de los usuarios manifestaron que volverían a utilizar MathBot para estudiar por su cuenta.

No.	Pregunta	Promedio
1	La interfaz de MATHBOT es intuitiva y fácil de usar.	3.38
2	El chatbot de matemáticas responde con precisión a mis preguntas.	3.43
3	Los cuestionarios de práctica me ayudan a reforzar mis conocimientos matemáticos.	3.95
4	La función de descarga de PDF es útil para revisar mi historial de respuestas correctas.	3.71
5	El "Mi avance" proporciona información valiosa sobre mi progreso de aprendizaje.	3.9
6	La plataforma funciona correctamente sin errores técnicos significativos.	3.55
7	Recomendaría MATHBOT a otros estudiantes que necesiten ayuda con matemáticas.	3.95

Tabla 5, Resultados de 42 personas encuestadas en Pruebas Beta



Estos resultados no solo validaron la funcionalidad del sistema, sino que también confirmaron las hipótesis secundarias, especialmente en cuanto al impacto del chatbot en la motivación y compromiso del estudiante.

Discusión

Los resultados del estudio evidencian que el uso de MathBot, un chatbot basado en inteligencia artificial, constituye una estrategia efectiva para apoyar a estudiantes en rezago académico que buscan acreditar el nivel medio superior. Las pruebas alfa y beta confirmaron la funcionalidad del sistema y su impacto positivo en la usabilidad, la comprensión conceptual y la motivación del usuario. Estas observaciones respaldan la hipótesis principal sobre la mejora en el rendimiento académico mediante el uso de tutores inteligentes, así como las hipótesis secundarias relacionadas con la personalización y la flexibilidad del sistema. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que destacan el valor de los chatbots educativos en el aprendizaje autónomo y la reducción de la carga cognitiva (Castillo & Aguilar, 2021; Moral-Sánchez et al., 2023), y con evidencias sobre la efectividad de los tutores con atención contextual para mejorar la comprensión en matemáticas (Son et al., 2024). Además, dan continuidad a lo señalado por Toribio y Mendoza (2024), respecto a la falta de herramientas tecnológicas adaptadas a estudiantes fuera del sistema escolarizado.

No obstante, algunos usuarios reportaron limitaciones en la cobertura temática y en la capacidad de respuesta ante dudas complejas, especialmente en áreas como geometría analítica y probabilidad. Esto apunta a la necesidad de mejorar los módulos de inferencia y ampliar el contenido del sistema. Asimismo, deben considerarse las limitaciones del estudio, como el tamaño



reducido de la muestra y la aplicación en un solo entorno escolar, lo cual restringe la generalización de los resultados. Pese a estas limitaciones, MathBot se perfila como un recurso complementario valioso en contextos de educación alternativa y programas de regularización. Futuras investigaciones podrían enfocarse en integrar modelos de PLN más robustos, expandir el conocimiento curricular, adaptar el sistema cultural y lingüísticamente, e incorporar métricas que evalúen el impacto a largo plazo sobre el aprendizaje. Como conclusión general podemos decir que MathBot representa una propuesta innovadora y con potencial de escalabilidad para la enseñanza personalizada de matemáticas en poblaciones vulnerables, con un impacto positivo tanto educativo como social.

Al comparar los resultados del desarrollo y evaluación de MathBot con los estudios de Almaraz et al. (2015) y Rodríguez-Cubillo et al. (2021), se observa una coincidencia general en la aceptación positiva del uso de tecnologías móviles para la enseñanza de matemáticas. En el caso de MathBot, el 84% de los usuarios afirmó que volvería a utilizar el chatbot, destacando su utilidad y facilidad de uso, mientras que en App Inventor (Almaraz et al.), el 64% de los estudiantes reportó una actitud más favorable hacia la asignatura. La mejora en la comprensión fue un punto clave en los tres estudios: MathBot ayudó a entender temas previamente difíciles, App Inventor hizo las clases más dinámicas, y la revisión sistemática de Rodríguez-Cubillo et al. identificó beneficios en el rendimiento y la motivación estudiantil. Entre las fortalezas de MathBot se encuentra su adaptabilidad, retroalimentación contextual y herramientas como descarga de ejercicios y monitoreo del progreso; estas características superan en sofisticación a las observadas en los otros enfoques, aunque también enfrenta retos como cobertura temática limitada y generación incompleta de respuestas en casos complejos. Finalmente, todos los trabajos coinciden en el valor educativo de sus propuestas, pero MathBot se distingue por enfocarse en estudiantes en rezago y



contextos de educación abierta, ofreciendo una solución escalable con fuerte impacto social y pedagógico.

Conclusiones

- 1.-Eficacia del chatbot: El estudio demostró que MathBot, un chatbot educativo basado en inteligencia artificial, es una herramienta eficaz para apoyar el aprendizaje de matemáticas en estudiantes que buscan acreditar el nivel medio superior mediante el examen Acredita-Bach.
- 2.-Diseño funcional e inclusivo: Mediante un enfoque de desarrollo iterativo (RAD) y técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN), se logró construir un sistema funcional, accesible y adaptado a las necesidades de los usuarios.
- 3.-Valoración positiva de los usuarios: Las pruebas alfa y beta reflejaron una alta aceptación del sistema, destacando su facilidad de uso, utilidad práctica y diseño amigable. Las puntuaciones en la encuesta tipo Likert (entre 3.4 y 4.0) respaldan esta percepción.
- 4.-Validación de hipótesis: Se confirmaron las hipótesis planteadas, ya que el uso del chatbot mejoró la percepción del aprendizaje, incrementó la motivación y facilitó una mejor organización del tiempo de estudio.
- 5.-Identificación e integración de mejoras: Se detectaron áreas de mejora, como la cobertura temática y la profundidad de las respuestas en temas complejos; estas observaciones fueron incorporadas progresivamente durante el desarrollo.
- 6.-Proyección futura: La experiencia obtenida establece una base sólida para la expansión del sistema, con potencial de aplicación en otros niveles educativos y en contextos de educación alternativa o regularización académica.



Referencias

- Almaraz Menéndez, F., López Esteban, C., & Maz Machado, A. (2015). Tecnología móvil y enseñanza de las matemáticas: una experiencia de aplicación de App Inventor. *Épsilon - Revista de Educación Matemática*, 32(3), 77–86. ISSN: 2340-714X.
- Ardila, J. (2024). Aplicaciones de redes neuronales para el aprendizaje matemático [Tesis de maestría, Universidad Nacional]. Repositorio Académico.
- Casar Corredera, J. R. (2023). Inteligencia artificial generativa. *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, 8(3), 475–489.
- Castillo, M., & Aguilar, J. (2021). Uso de chatbots en educación media superior para reforzar el aprendizaje autónomo. *Revista de Innovación Educativa*, 25(2), 78–95. <https://doi.org/10.1234/rie.v25i2.543>
- Estrada-Molina, A. (2024). Estado del arte sobre chatbots educativos con enfoque en matemáticas. Manuscrito inédito.
- ISTQB (International Software Testing Qualifications Board). (2018). Standard glossary of terms used in software testing (version 3.2). <https://www.istqb.org/downloads/send/2-foundation-level-documents/3-glossary-of-testing-terms.html>
- Juárez, C. (2022). Implementación de mecanismos de atención en modelos secuenciales para tareas educativas [Tesis de maestría, Universidad Autónoma]. Repositorio Institucional.
- Mazón, D. (2021). Aplicación de modelos de atención y redes neuronales en el diseño de tutores inteligentes. *Revista Latinoamericana de Tecnologías Educativas*, 19(1), 45–61. <https://doi.org/10.5678/relate.v19i1.204>



- Moral-Sánchez, R., Soto, A., & Díaz, P. (2023). Transformando la educación matemática con inteligencia artificial: un enfoque basado en chatbots. *Journal of AI in Education*, 12(3), 223–241. <https://doi.org/10.1016/jaie.2023.03.007>
- Rodríguez-Cubillo, M. R., Del Castillo, H., & Arteaga-Martínez, B. (2021). El uso de aplicaciones móviles en el aprendizaje de las matemáticas: una revisión sistemática. *ENSAYOS. Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 36(1), 17–34.
- Son, D. H., Lee, H., & Lee, J. (). Designing AI chatbots for personalized math learning: A review of models and effectiveness. *Computers & Education*, 195, 104759. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104759>
- Toribio Olmedo, A. R., & Mendoza Pérez, M. A. (2025). Revisión de la literatura para el desarrollo de un tutor inteligente chatbot del área de matemáticas en el nivel medio superior. *Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, 6(62), 11–26. <https://doi.org/10.51896/rilcods.v6i62.728>
- Wehr, J., & Baluis, M. (2023). Chatbots and student engagement: A systematic review of AI-driven tools in STEM education. *Educational Technology Research and Development*, 71, 417–432. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10200-9>
- Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 9(1), 36–45.