

Web recommendation system based on Artificial Intelligence for teaching linear equations to secondary school students

Alexander Kenneth Romero Huaman¹; Fernando Sierra-Liñan¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, u19303870@utp.edu.pe, c22334@utp.edu.pe

Abstract– High school students struggle with linear equations due to limited feedback; thus, educational institutions increasingly use technological tools to effectively support, enhance, and strengthen student learning outcomes. The research aimed to develop and implement a web-based recommendation system based on artificial intelligence designed to reinforce the learning of linear equations in secondary school students. A quantitative approach with a pre-experimental design was applied, using pre-test and post-test to measure the impact of the system on reasoning, mathematical demonstration, and problem-solving skills. The reliability of the instruments was validated using Cronbach's alpha coefficient, with values above 0.80, while the Wilcoxon test confirmed significant differences ($p < 0.05$) between the initial and final results. The findings showed an average increase of more than 16% in student performance, demonstrating the effectiveness of the proposed solution. From a technological standpoint, the system integrates a recommendation engine, developed using the agile Scrum methodology, which made it possible to build a tool adaptable to pedagogical needs. In conclusion, the web-based recommendation system is an innovative and effective alternative for improving mathematics learning and lays the foundation for future research related to the personalization of the educational process through artificial intelligence techniques.

Keywords– Artificial intelligence, Recommendation system, Linear equations, Personalized learning, Secondary education

Sistema web de recomendación basado en IA para el aprendizaje de ecuaciones lineales en estudiantes de secundaria

Alexander Kenneth Romero Huaman¹; Fernando Sierra-Liñan¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, u19303870@utp.edu.pe, c22334@utp.edu.pe

Resumen– Los estudiantes de secundaria tienen dificultades con las ecuaciones lineales debido a la escasa retroalimentación; por ello, las instituciones educativas utilizan cada vez más herramientas tecnológicas para apoyar, mejorar y reforzar de manera eficaz los resultados del aprendizaje de los estudiantes. La investigación tenía como objetivo desarrollar e implementar un sistema de recomendación basado en la inteligencia artificial y diseñado para reforzar el aprendizaje de las ecuaciones lineales en los estudiantes de secundaria. Se aplicó un enfoque cuantitativo con un diseño preexperimental, utilizando pruebas previas y posteriores para medir el impacto del sistema en el razonamiento, la demostración matemática y las habilidades para resolver problemas. La fiabilidad de los instrumentos se validó utilizando el coeficiente alfa de Cronbach, con valores superiores a 0,80, mientras que la prueba de Wilcoxon confirmó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los resultados iniciales y finales. Los resultados mostraron un aumento medio de más del 16 % en el rendimiento de los estudiantes, lo que demuestra la eficacia de la solución propuesta. Desde el punto de vista tecnológico, el sistema integra un motor de recomendaciones, desarrollado utilizando la metodología ágil Scrum, que permitió crear una herramienta adaptable a las necesidades pedagógicas. En conclusión, el sistema de recomendaciones basado en la web es una alternativa innovadora y eficaz para mejorar el aprendizaje de las matemáticas y sienta las bases para futuras investigaciones relacionadas con la personalización del proceso educativo mediante técnicas de inteligencia.

Palabras clave– Sistema de recomendaciones, Ecuaciones lineales, Aprendizaje personalizado, Educación secundaria.

I. INTRODUCCIÓN

Resolver ecuaciones lineales es una parte fundamental del aprendizaje de las matemáticas, especialmente en los cursos de álgebra de la escuela secundaria. Sin embargo, numerosos estudios han demostrado que los estudiantes enfrentan serias dificultades en esta área, lo que limita el desarrollo del razonamiento lógico y afecta su rendimiento académico general. Según el informe PISA 2022, más del 65 % de los estudiantes de secundaria de los países en desarrollo no alcanzan el nivel mínimo de competencia en matemáticas [1]. Este problema está asociado a una enseñanza centrada en la memorización, la falta de personalización y el uso limitado de tecnologías adaptativas, lo que conduce al abandono escolar, a deficiencias en la educación superior y a oportunidades limitadas en los campos científicos y tecnológicos [2]. En

América Latina, la situación es aún más crítica, ya que estudios recientes revelan que el 80 % de los estudiantes no domina los conceptos matemáticos básicos [3], debido principalmente a la desigualdad social, la falta de infraestructura tecnológica y un plan de estudios poco contextualizado [4]. En el caso de Perú, la Evaluación del Censo Estudiantil (ECE) de 2023 mostró que solo el 17,3 % de los estudiantes alcanzaba un nivel satisfactorio en matemáticas [5], lo que pone de manifiesto las deficiencias en las metodologías innovadoras, la formación del profesorado y la integración de las tecnologías educativas. Esta realidad refleja la urgencia de implementar estrategias que contribuyan a mejorar el aprendizaje de las matemáticas en la escuela secundaria, especialmente en contextos con acceso limitado a los recursos [6]. A pesar de los avances en inteligencia artificial aplicada a la educación, siguen existiendo importantes lagunas. La mayoría de los sistemas de recomendación adaptativa se han validado en la educación superior y no en la secundaria [7], [8]; Los modelos de aprendizaje por refuerzo aún carecen de validación en aulas reales y de métricas pedagógicas específicas [9]; y la integración con agentes conversacionales sigue siendo limitada, lo que restringe la tutoría adaptativa en tiempo real [10]. Además, hay pocas experiencias documentadas en matemáticas básicas con conjuntos de datos en español, lo que dificulta el diseño de soluciones contextualizadas [11]. Estas limitaciones ponen de relieve la necesidad de propuestas centradas en la educación secundaria que combinen la personalización, la retroalimentación inmediata y la relevancia regional.

II. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, la personalización del aprendizaje mediada por la IA ha evolucionado hasta convertirse en ecosistemas capaces de organizar itinerarios de estudio dinámicos y evaluaciones adaptativas. Investigaciones recientes muestran mejoras en el rendimiento y la motivación cuando se aplican trayectorias personalizadas [12], mientras que otros estudios proponen directrices prácticas para optimizar estos itinerarios en entornos inteligentes [13]. También se han desarrollado sistemas de recomendación que combinan los perfiles, los objetivos y los resultados de los

estudiantes para sugerir estrategias pedagógicas eficaces [14]. Desde una perspectiva técnica, se han implementado modelos de aprendizaje profundo por refuerzo que optimizan la retención y la progresión a largo plazo [15], así como modelos adaptativos que ajustan la dificultad de los recursos en función de las competencias detectadas [16]. En el campo de las matemáticas, se han diseñado tutores inteligentes para operaciones específicas que detectan errores recurrentes y adaptan la instrucción en tiempo real [17]. Asimismo, se han identificado componentes críticos para la construcción de recomendadores personalizados en entornos escolares, como el modelado del alumno y la

selección de recursos adecuados [18], además de sistemas basados en la predicción temprana del rendimiento académico y la clasificación de los estudiantes para intervenciones oportunas [19]. Sin embargo, la mayoría de estas propuestas se han aplicado en la educación superior o en entornos generales, por lo que las experiencias validadas en la educación secundaria y, concretamente, en la enseñanza del álgebra siguen siendo limitadas.

III. OBJETIVO

A. Objetivo General:

Determinar en qué medida un sistema web de recomendación con IA mejora el aprendizaje de las ecuaciones lineales en estudiantes de secundaria.

B. Objetivos específicos:

- Determinar en qué medida un sistema web de recomendación con IA mejora el razonamiento matemático de las ecuaciones lineales en estudiantes de secundaria.
- Determinar en qué medida un sistema web de recomendación con IA mejora la demostración matemática de las ecuaciones lineales en estudiantes de secundaria.
- Determinar en qué medida un sistema web de recomendación con IA mejora la resolución de problemas matemáticos de ecuaciones lineales en estudiantes de secundaria.

IV. SOLUCIÓN METODOLÓGICA

Para el desarrollo del sistema de recomendaciones web, decidimos utilizar la metodología ágil Scrum, ya que se adapta bien a proyectos que requieren retroalimentación constante y plazos de entrega cortos. Este enfoque nos permitió trabajar en iteraciones llamadas Sprints, en las que se añadían funciones

específicas del sistema en cada ciclo y se validaban con estudiantes y profesores. Tal como se muestra en la Fig. 1.



Fig. 1 Metodología SCRUM

A. Planificación del sprint

Durante la planificación del sprint, se definieron los elementos clave que guiarían el desarrollo del sistema. En primer lugar, se identificaron los requisitos del proyecto, que respondían a los problemas detectados en el aprendizaje de ecuaciones lineales y sirvieron como punto de partida para proponer la solución. Estos se presentan en la Tabla I.

TABLA I
REQUISITOS DEL PROYECTO

Necesidad	Descripción
Personalización del aprendizaje	Los estudiantes tienen diferentes niveles de comprensión de las ecuaciones lineales.
Retroalimentación en tiempo real	Los métodos tradicionales carecen de retroalimentación inmediata sobre el desempeño.
Evaluación diagnóstica continua	El progreso debe medirse con pruebas adaptativas periódicas.
Accesibilidad tecnológica	Una plataforma web accesible y fácil de usar para profesores y estudiantes.

Posteriormente, se recopilaban datos relacionados con aspectos pedagógicos, técnicos y contextuales, que constituyeron la base para el diseño inicial del sistema y se detallan en la Tabla II.

TABLA II
RECOPILACIÓN DE DATOS DEL PROYECTO

Fuente	Número de participantes	Principales conclusiones
Estudiantes de secundaria	30 estudiantes	El 65 % no resolvió correctamente ecuaciones con 1 o 2 incógnitas; el 40 % cometió errores en pasos algebraicos básicos.
Profesores de matemáticas	5 profesores	Coinciden en la falta de recursos digitales y en la dificultad para personalizar la enseñanza.
Revisión de documentos	10 documentos	Existen diferencias entre las competencias esperadas y los resultados reales en el área de ecuaciones lineales.

Para organizar las funcionalidades del sistema desde la perspectiva de los usuarios, se redactaron historias de usuario con el fin de describir en términos sencillos lo que los estudiantes y profesores esperan de la aplicación. Estas se presentan en la Tabla III. A partir de estas historias, se elaboró el Product Backlog, priorizando las tareas y los módulos que se desarrollarían en cada Sprint, tal y como se muestra en la Tabla IV.

TABLA III
TABLA DE HISTORIA DEL USUARIO

ID	Actor	Historia de usuario	Criterios de aceptación
HU1	Estudiante	Como estudiante, deseo resolver ejercicios de ecuaciones lineales adaptados a mi nivel, para mejorar progresivamente mi aprendizaje.	El sistema recomienda ejercicios basados en los resultados de la prueba de diagnóstico inicial.
HU2	Estudiante	Como estudiante, deseo recibir comentarios y explicaciones paso a paso después de cada ejercicio, para comprender mis errores y mejorar.	El sistema muestra explicaciones y pasos para resolver cada problema después de cada respuesta.
HU3	Profesor	Como profesor, quiero ver los informes de rendimiento de mis alumnos para identificar sus puntos fuertes y débiles.	El sistema genera paneles de control (individuales y grupales).
HU4	Profesor	Como profesor, deseo registrarme e iniciar sesión en la plataforma.	El sistema permite un acceso seguro con un nombre de usuario y una contraseña.

TABLA IV.
TABLA PRODUCT BACKLOG

ID	Backlog item	Prioridad	Breve descripción
PB1	Motor de recomendaciones adaptativo	Alto	Sugerencias de ejercicios personalizados basados en el nivel del estudiante.
PB 2	Informes académicos para maestros	Medio	Generación de informes de progreso.
PB3	Módulo de autenticación y gestión de usuarios	Medio	Registro, inicio de sesión y control de acceso.
PB4	Interfaz web adaptativa	Bajo	Acceso desde diferentes dispositivos.

B. Desarrollo del sprint

1) Sprint 1: Autenticación y diagnóstico inicial

El primer sprint se centró en implementar la autenticación de usuarios y diseñar la prueba de diagnóstico inicial. Esta mejora permitió al sistema registrar a estudiantes y profesores, gestionar el acceso de forma segura y generar un diagnóstico de sus habilidades de razonamiento y resolución de problemas. La Fig. 2a muestra la pantalla de registro, donde los usuarios pueden crear una cuenta e introducir sus datos personales para acceder a la plataforma. La Fig. 2b muestra la pantalla de inicio de sesión, que se utiliza para autenticar la identidad de los usuarios antes de que entren en el sistema.

Fig. 2a. Creación de cuenta de usuario

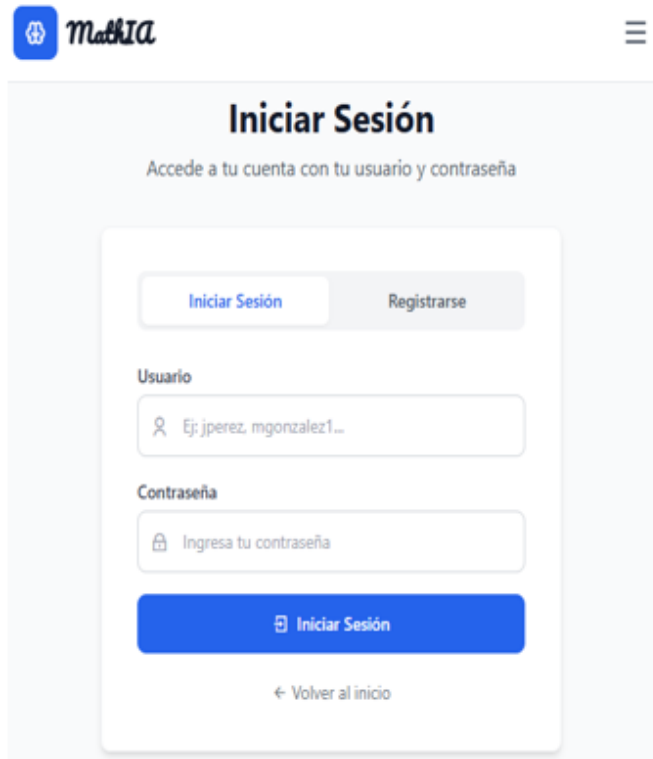


Fig.2b. Inicio de sesión de usuario

La Fig. 3 muestra la prueba de diagnóstico realizada a los estudiantes. Su implementación permitió recopilar información inicial sobre el nivel de habilidades en álgebra, lo que sirvió de base para la posterior personalización del contenido.

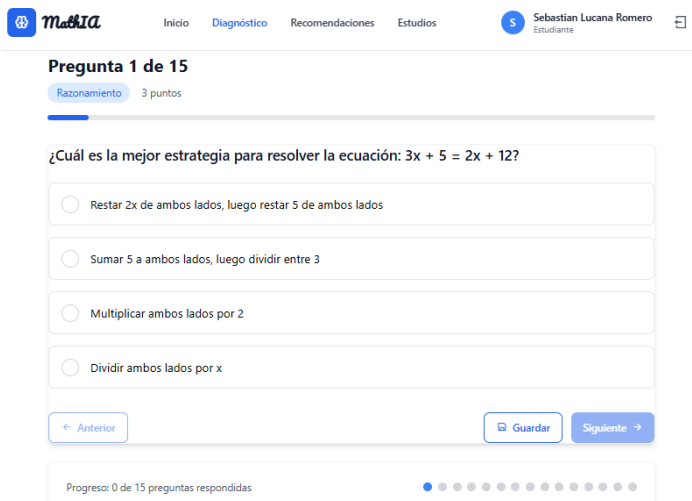


Fig.3. Diagnóstico inicial

2) Sprint 2: Motor básico de recomendaciones

Durante el segundo Sprint, se desarrolló el motor básico de recomendaciones, que se encarga de personalizar el aprendizaje en función de los resultados obtenidos en la prueba de diagnóstico. La Fig. 3 muestra las principales vistas relacionadas con esta funcionalidad. La Fig. 3a muestra los resultados del diagnóstico inicial, que sirven de entrada para que el motor analice el rendimiento de cada estudiante. La Fig. 3b ilustra la identificación de las áreas en las que los estudiantes obtuvieron peores resultados, lo que permite generar recomendaciones específicas para reforzar sus habilidades. Por último, la figura 3c muestra el material sugerido al estudiante, adaptado a sus necesidades de aprendizaje y seleccionado automáticamente por el sistema.



Fig.3a. Resultados del diagnóstico

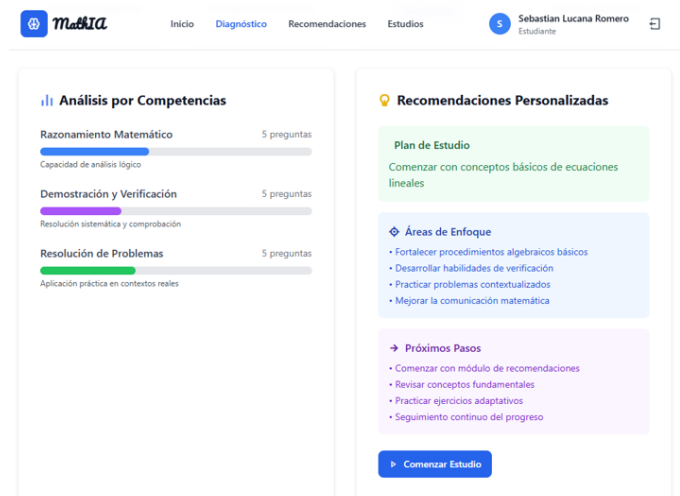


Fig.3b. Áreas de menor rendimiento

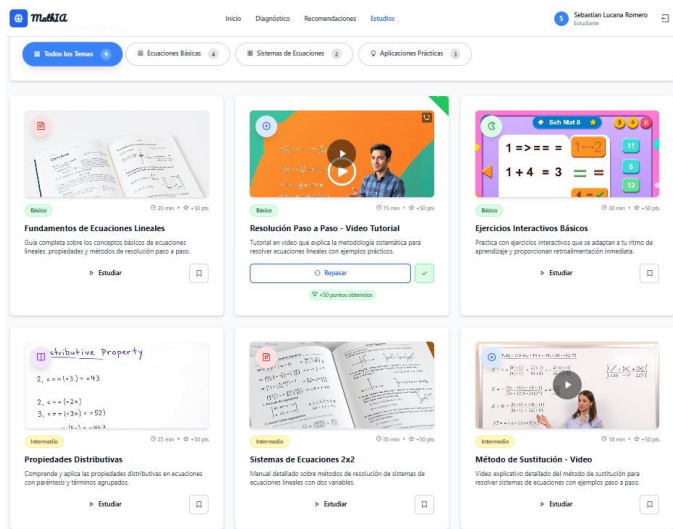


Fig.3c. Material adaptado al estudiante.

3) Sprint 3: Módulo de informes académicos

En el tercer Sprint, se implementó el módulo de informes académicos para los maestros. Este componente permitió visualizar claramente el progreso de los estudiantes, tanto a nivel individual como grupal, lo que facilitó la toma de decisiones pedagógicas. La Fig. 4 muestra el panel de control global y la Fig. 5 muestra el panel de control del estudiante generado por el sistema. Estos informes ofrecen una visión detallada del rendimiento de cada estudiante, lo que permite a los maestros identificar las debilidades y fortalezas en el aprendizaje.

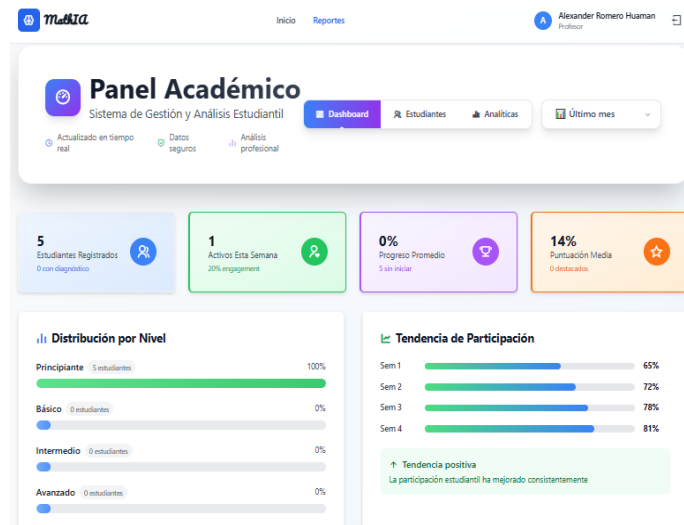


Fig.4. Panel de control global del maestro

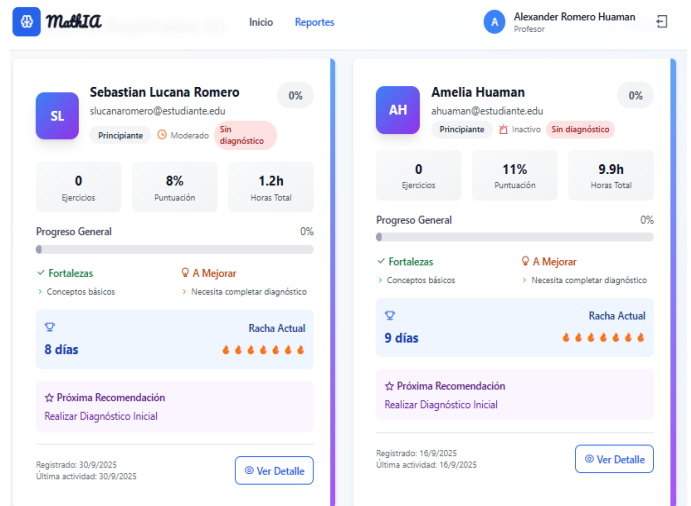


Fig.5. Panel de control por estudiante

4) Sprint 4: Optimización y pruebas de usabilidad

Sprint 4: Optimización y pruebas de usabilidad: El cuarto Sprint se centró en la optimización integral del sistema y en las pruebas de usabilidad con estudiantes y profesores. Durante esta fase no se desarrollaron nuevos módulos, sino que se perfeccionaron los ya existentes, dando prioridad a la mejora de la interfaz, la claridad de la navegación y la accesibilidad desde diferentes dispositivos. Las pruebas realizadas con los usuarios permitieron identificar los ajustes necesarios en la presentación de los contenidos, la secuencia de los ejercicios y la retroalimentación inmediata proporcionada por el sistema. Estas modificaciones garantizaron que la aplicación final no solo fuera técnicamente funcional, sino también pedagógicamente relevante y fácil de usar para los estudiantes. Con el fin de resumir el trabajo realizado en cada iteración, la Tabla V presenta la planificación de los cuatro Sprints, indicando la duración, los objetivos principales y los resultados correspondientes. Esta tabla nos permite observar la progresión del desarrollo, desde la autenticación inicial hasta la validación final del sistema en el entorno educativo. Como se muestra en la Tabla V.

TABLA V
TABLA DE PRUEBAS DE OPTIMIZACIÓN Y USABILIDAD

Sprint	Duración	Objetivo principal	Resultado esperado
Sprint 1	2 semanas	Implementar la autenticación y el diagnóstico inicial.	Módulo de registro/inicio de sesión y prueba de diagnóstico inicial.
Sprint 2	2 semanas	Desarrollar un motor de recomendaciones básico.	Algoritmo de recomendaciones funcional integrado en la interfaz.
Sprint 3	2 semanas	Implementar un módulo de informes académicos.	Paneles de control e informes para los maestros sobre el rendimiento de los alumnos.
Sprint 4	2 semanas	Optimizar la interfaz y realizar pruebas de usabilidad.	Versión final del sistema con interfaz optimizada, correcciones de usabilidad y listo para su implementación en un entorno educativo.

5) Scrum diario

Durante el desarrollo del proyecto, se celebraron breves reuniones diarias de control, en las que el equipo revisaba el progreso de cada tarea, identificaba los obstáculos y definía las acciones a tomar para mantener el ritmo de trabajo.

6) Revisión del Sprint

Al final de cada Sprint, se presentaban los avances a los profesores y alumnos participantes con el fin de validar la funcionalidad implementada y recabar comentarios para mejorar en la siguiente iteración.

7) Retrospectiva del Sprint

Después de cada revisión, se celebraba una sesión interna de retroalimentación, en la que el equipo evaluaba el proceso seguido, identificaba los puntos fuertes y proponía ajustes para optimizar la planificación y ejecución de futuros Sprints.

Mediante la aplicación de la metodología Scrum, se pudo organizar el desarrollo del sistema en iteraciones cortas y controladas, lo que nos permitió integrar progresivamente los módulos principales y validarlos con los usuarios finales. Gracias a este enfoque ágil, cada Sprint generó entregables funcionales que se revisaron y mejoraron continuamente. Las principales conclusiones obtenidas tras la implementación y evaluación del sistema de recomendaciones web se presentan a continuación en la sección Resultados.

III. RESULTADOS

A. PRUEBA DE FIABILIDAD

El estudio utilizó el alfa de Cronbach para evaluar la consistencia interna de un cuestionario sobre ecuaciones lineales. Los resultados mostraron una alta fiabilidad en las dimensiones de razonamiento ($\alpha=0,881$), resolución de problemas ($\alpha=0,856$) y demostración ($\alpha=0,854$), lo que confirma la validez y fiabilidad de los instrumentos aplicados a los estudiantes de secundaria. Como se muestra en la Tabla VI.

TABLA VI
TABLA QUE MUESTRA LOS RESULTADOS DE FIABILIDAD DE

Instrumento	Método	Indicador	Coefficiente
Cuestionario pre y post	Cronbach's alpha	Razonamiento	0.881
Cuestionario pre y post	Cronbach's alpha	Demostración	0.0854
Cuestionario pre y post	Cronbach's alpha	Resolución de problemas	0.856

LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

B. Estadísticas descriptivas

1) Indicador I: Razonamiento

La Fig. 6 muestra un claro aumento en las puntuaciones medias de los estudiantes entre la prueba previa y la prueba posterior. En la prueba previa, la media fue de aproximadamente 15, mientras que en la prueba posterior aumentó a 17. Esta diferencia refleja una mejora del 16,48 %, lo que demuestra que el uso del sistema de recomendaciones basado en la web permitió a los estudiantes reforzar sus habilidades de análisis lógico y su comprensión de los procedimientos algebraicos.

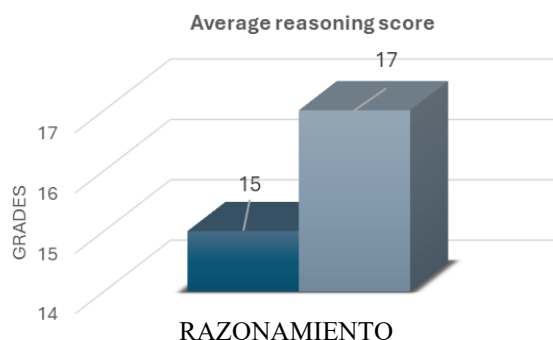


Fig. 6 Comparación de las medias en la prueba previa y la prueba posterior de razonamiento matemático.

2) Indicador II: Demostración

La Fig. 7 muestra un aumento en la puntuación media de 15 en la prueba previa a 18 en la prueba posterior. El aumento del 16,30 % sugiere que los estudiantes desarrollaron mejores habilidades para explicar, justificar y argumentar los pasos seguidos en la resolución de ecuaciones lineales. Esto indica que el sistema no solo reforzó la práctica mecánica, sino también la capacidad de justificar matemáticamente las soluciones.

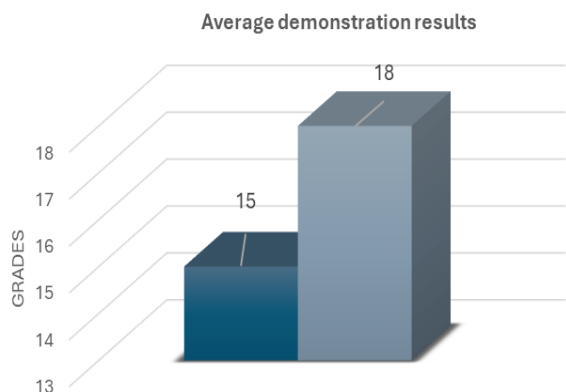


Fig.7. Comparación de las medias en la prueba previa y posterior a la demostración matemática.

3) Indicador III: Resolución de problemas

La Fig. 8 muestra que los estudiantes pasaron de una puntuación media de 15 en la prueba previa a 17 en la prueba posterior, lo que representa una mejora del 16,29 %. Este resultado demuestra que los estudiantes fueron capaces de transferir sus conocimientos a situaciones prácticas, resolviendo problemas contextualizados de forma más eficaz. El sistema ayudó a los estudiantes a aplicar ecuaciones lineales con mayor confianza en una variedad de escenarios.

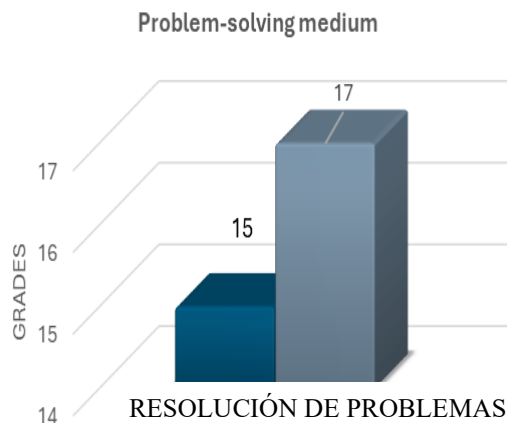


Fig.8. Comparación de medias en la prueba previa y la prueba posterior de resolución de problemas.

C. Estadística inferencial

El análisis de la prueba de normalidad de la Tabla VII utilizando la estadística de Shapiro-Wilk mostró que los datos correspondientes a la prueba previa de razonamiento (Sig. =

0.108), demostración (Sig. = 0.084) y resolución de problemas (Sig. = 0.189) se distribuyen normalmente, dado que sus valores de significación son superiores a 0.05. Por el contrario, los resultados de la prueba posterior para los tres indicadores mostraron valores de significación inferiores a 0.05 (razonamiento: 0.005, demostración: 0.009 y resolución de problemas: 0.009), lo que indica que estas distribuciones no cumplen con el supuesto de normalidad. Esta combinación de resultados justifica el uso de pruebas no paramétricas para la comparación entre las pruebas previas y posteriores, seleccionando la prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

TABLA VII
TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD

PRUEBA DE NORMALIDAD DE SHAPIRO-WILK			
Indicador	Estadístico	gl	Sig
Pre-test puntuación en razonamiento	0.943	30	0.108
Post-test puntuación en razonamiento	0.891	30	0.005
Pre-test puntuación en demostración	0.939	30	0.084
Post-test puntuación en demostración	0.901	30	0.009
Pre-test puntuación en resolución de problemas	0.952	30	0.189
Post-test puntuación en resolución de problemas	0.901	30	0.009

D. Prueba de Wilcoxon

La Tabla VIII muestra los resultados de la prueba de Wilcoxon, que revelan diferencias significativas en todos los indicadores evaluados. En el caso del razonamiento, se obtuvo un valor Z de -4.909 con un nivel de significación de $p=0.000$; en la demostración, un valor Z de -4.905 con $p=0.000$; y en la resolución de problemas, un valor Z de -4.693 con $p=0.000$. En los tres casos, los valores p son inferiores a 0,05, lo que nos permite rechazar las hipótesis nulas y aceptar las hipótesis alternativas. Esto confirma que el sistema de recomendación basado en la web con inteligencia artificial produjo mejoras estadísticamente significativas en el rendimiento de los estudiantes en términos de razonamiento matemático, demostración matemática y resolución de problemas de ecuaciones lineales.

TABLA VIII
TABLA DE RESULTADOS DE WILCOXON

Prueba de rangos con signos de Wilcoxon		
Indicador	Z	Asintótico (bilateral)
Pre-test y post-test resultados para razonamiento	-4,909b	0
Pre-test y post-test resultados de la demostración	-4,905b	0
Pre-test y post-test resultados para la resolución de problemas	-4,693b	0

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el sistema de recomendación web basado en IA tuvo un impacto positivo en el aprendizaje de ecuaciones lineales por parte de los estudiantes de secundaria. El aumento promedio de más del 16 % entre las puntuaciones de la prueba previa y la prueba posterior confirma la eficacia de la herramienta para reforzar el razonamiento, la demostración matemática y las habilidades para resolver problemas. Además, los valores alfa de Cronbach superiores a 0,80 validan la fiabilidad de los instrumentos, y la prueba de Wilcoxon mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las mediciones iniciales y finales. A diferencia de otros estudios que evalúan las mejoras generales en entornos virtuales, este trabajo proporciona pruebas específicas sobre el aprendizaje de ecuaciones lineales en la escuela secundaria, un campo que ha sido poco explorado en investigaciones anteriores.

IV. DISCUSION

Al comparar estos resultados con los últimos avances, se observa una coherencia con los estudios que destacan la importancia de personalizar el aprendizaje. En [7] y [16] se demostró que los entornos adaptativos aumentan el compromiso y optimizan las trayectorias de aprendizaje al ajustar el contenido según el progreso de los estudiantes, lo que coincide con la mejora significativa obtenida en esta investigación. La principal diferencia es que este sistema no solo adapta el contenido de manera general, sino que también personaliza ejercicios matemáticos específicos que involucran ecuaciones lineales, lo que representa un mayor nivel de enfoque que el reportado en estudios anteriores. Del mismo modo, investigaciones recientes en matemáticas proporcionan evidencia directa del potencial de estas tecnologías. En [18] se demostró que un sistema inteligente permite identificar errores recurrentes y adaptar la retroalimentación, lo que se relaciona con la estrategia implementada en este estudio para reforzar habilidades específicas. Por otro lado, [19] destaca los componentes clave de los recomendadores personalizados en contextos escolares, como el modelado del alumno y la selección adecuada de recursos, elementos que también se tuvieron en cuenta en la arquitectura del sistema desarrollado.

Por último, [20] destaca la utilidad de predecir el rendimiento académico temprano para orientar intervenciones oportunas. En comparación, la contribución de este estudio radica en integrar estas buenas prácticas en un sistema funcional validado en el aula con estudiantes de secundaria, llenando un vacío que no se había abordado en los trabajos mencionados. En resumen, los resultados de este estudio validan las hipótesis propuestas y confirman que la integración de técnicas de inteligencia artificial en un sistema de recomendación basado en la web es una alternativa eficaz para reforzar el aprendizaje de las matemáticas en la escuela secundaria. La principal mejora con respecto a investigaciones anteriores es que este proyecto demuestra de manera aplicada y con evidencia estadística que un sistema de recomendación puede generar avances significativos en el aprendizaje de un tema específico, como las ecuaciones lineales, consolidando así una contribución novedosa dentro de la innovación educativa con IA.

A pesar de los resultados positivos, este estudio tiene algunas limitaciones. La validación se llevó a cabo con una muestra pequeña y en una sola institución educativa, lo que limita la generalización de los resultados. Además, el sistema se centró exclusivamente en el aprendizaje de ecuaciones lineales, sin evaluar su aplicabilidad a otros contenidos matemáticos. Estas limitaciones deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados, pero también abren oportunidades para que futuras investigaciones amplíen y refuercen el alcance de la propuesta.

VI. CONCLUSION

El sistema de recomendaciones web basado en inteligencia artificial mejoró significativamente el aprendizaje de ecuaciones lineales por parte de los estudiantes de secundaria. Los resultados mostraron aumentos de más del 16 % en razonamiento, demostración y resolución de problemas, lo que validó las hipótesis planteadas. La combinación de un motor de recomendaciones adaptativo permitió una experiencia personalizada y eficaz, lo que confirmó el potencial de la inteligencia artificial como herramienta para fortalecer la enseñanza de las matemáticas en la educación secundaria.

REFERENCIAS

- [1] OECD, Pisa 2022 Results, vol. I. 2023, DOI: 10.1787/a97db61c-en.
- [2] L. Major, G. A. Francis, and M. Tsapali, "The effectiveness of technology-supported personalised learning in low- and middle-income countries: A meta-analysis," *British Journal of Educational Technology*, vol. 52, no. 5, pp. 1935–1964, 2021, DOI: 10.1111/bjet.13116.
- [3] Banco Interamericano de Desarrollo, Reporte sobre rendimiento educativo en América Latina, BID, 2022 — <https://publications.iadb.org/es/el-estado-de-la-educacion-en-america-latina-y-el-caribe-2023>.
- [4] D. A. Jaramillo Neira, F. Cala-Vitery, y F. A. Poveda Aguja, "Rural Education in Colombia: Adapting Quality Policies to Local Realities," *Societies*, vol. 15, no. 6, Art. 159, 2025, DOI: 10.3390/soc15060159.
- [5] Ministerio de Educación del Perú, Evaluación Censal de Estudiantes

2023, MINEDU, 2024.

- [6] A. García-Pérez et al., "Impact of digital technologies upon teaching and learning in higher education in Latin America: an outlook on the reach, barriers, and bottlenecks," *Education and Information Technologies*, 2022, DOI: 10.1007/s10639-022-11214-1.
- [7] M. Abrar et al., "AI-Powered Learning Pathways: Personalized Learning and Dynamic Assessments," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 16, no. 1, 2025, DOI: 10.14569/IJACSA.2025.0160145
- [8] S. Aich and D. Bhat, "Enhancing Educational Outcomes Through AI Powered Learning Strategy Recommendation System," *IJACSA*, vol. 15, no. 10, 2024, DOI: 10.14569/IJACSA.2024.0151075.
- [9] W. Wang, "Long-Term Recommendation Model for Online Education Systems: A Deep Reinforcement Learning Approach," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 16, no. 2, pp. —, 2025, DOI: 10.14569/IJACSA.2025.0160237.
- [10] J. Wang, J. Q. Chen, D. Kang, S. Herath, and A. AbuHussein, "Designing a conversational agent for education using a personality-based approach," *IJACSA*, vol. 15, no. 6, 2024, DOI: 10.14569/IJACSA.2024.0150602.
- [11] I. B. Mazlan, N. Abdullah, N. Ahmad, and S. Z. Harun, "A Review of Personalized Recommender System for Mental Health Interventions," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 15, no. 10, pp. 385–393, 2024, DOI: 10.14569/IJACSA.2024.0151041.
- [12] K. P. Thai, H. J. Bang y L. Li, "Accelerating Early Math Learning with Research-Based Personalized Learning Games: A Cluster Randomized Controlled Trial", *Journal of Research on Educational Effectiveness*, vol. 15, n.º 3, págs. 517-540, 2022, DOI: 10.1080/19345747.2021.1969710.
- [13] X. Ding, H. Ding, F. Zhou y L. Zhao, "Personalized learning path optimization based on enhanced deep neural network: higher education teaching model integrating learner behavior and cognitive style", *Discover Artificial Intelligence*, vol. 5, n.º 1, págs. 1-18, 2025, DOI: 10.1007/s44163-025-00467-7.
- [14] S. A. Siddiqui y S. R. Khan, "Adaptive deep reinforcement learning for personalized learning pathways: A multimodal data-driven approach with real-time feedback optimization", *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 6, n.º 1, págs. 1-14, 2025, DOI: 10.1016/j.caeai.2025.100463.
- [15] K. Mrhar, "A deep learning framework for optimizing personalized online course recommendation and selection", *Decision Analytics Journal*, vol. 9, n.º 1, págs. 1-12, 2025, DOI: 10.1016/j.dajour.2025.100616.
- [16] J. Karam, "Strategies for Optimizing Personalized Learning Pathways with Artificial Intelligence Assistance," *IJACSA*, vol. 15, no. 6, 2024, DOI: 10.14569/IJACSA.2024.0150662.
- [17] M. N. Rabbani et al., "Adaptive AI-Based Personalized Learning for Accelerated Same Learning," *IJACSA*, vol. 16, no. 4, 2025, DOI: 10.14569/IJACSA.2025.0160467.
- [18] S.-C. Shih, C.-C. Chang, B.-C. Kuo, and Y.-H. Huang, "Mathematics intelligent tutoring system for learning multiplication and division of fractions based on diagnostic teaching," *Education and Information Technologies*, vol. 28, pp. 9189–9210, 2023, DOI: 10.1007/s10639-022-11553-z.
- [19] X. Wang, A. B. Hassan, H. Shwu Pyng, H. Ye, and A. A. Aminuddin, "The impact of perceived quality of online interaction on satisfaction of international student interactions in higher education," *Cogent Education*, vol. 11, Article ID 2293454, 2024, DOI: 10.1080/2331186X.2023.2293454.
- [20] Z. Bousalem, A. Qazdar, I. El Guabassi, and A. Haj, "A recommendation system based on early academic performance prediction and student classification: Utilizing artificial intelligence and mobile-based application," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 18, no. 15, pp. 4–19, 2024, DOI: 10.3991/ijim.v18i15.47135.