



INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS ACTIVAS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ENSEÑANZA DEL TEMA DE SUCESIONES Y SERIES: UNA EXPERIENCIA DE CLASE EN UN CURSO SEMIPRESCENCIAL DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

INTEGRATION OF ACTIVE METHODOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING SEQUENCES AND SERIES: A CLASSROOM EXPERIENCE IN A BLENDED COURSE AT THE COSTA RICA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Reiman Yitsak Acuña Chacón¹

 ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0094-3282>

Marcela Marrero Calvo²

 ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6008-7078>

RESUMEN

Este trabajo describe una experiencia educativa desarrollada en un curso universitario de Cálculo, centrada en la enseñanza de sucesiones y series. Con el fin de fortalecer la comprensión conceptual y práctica de estos temas, se implementaron metodologías activas como la Enseñanza Justo a Tiempo (JiTT) e Instrucción entre Pares (PI), apoyadas con herramientas de Inteligencia Artificial (IA). Se compararon dos grupos: uno experimental, que integró estas metodologías con IA, y otro de control, con un enfoque tradicional. Los resultados evidenciaron mejoras en el razonamiento matemático, la colaboración y el desempeño académico del grupo experimental. Esta experiencia, además de ser replicable, destaca el potencial de integrar metodologías activas y tecnologías emergentes en la educación matemática universitaria, en concordancia con tendencias internacionales.

Palabras claves: metodologías activas, inteligencia artificial, sucesiones, series, enseñanza matemática universitaria.

ABSTRACT

This work describes an educational experience developed in a college Calculus course, focused on the study of sequences and series. Two active methodologies were implemented in order to strengthen the conceptual and practical understanding of those topics: Just-in-Time Teaching (JiTT) and Peer Instruction (PI), both supported by Artificial

1 Escuela de Matemática, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 159-7050. reiacuna@itcr.ac.cr

2 Escuela de Matemática, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 159-7050. mmarrero@itcr.ac.cr

Intelligence (AI) tools Two groups were compared: an experimental group, which integrated these methodologies with AI, and a control group, with a traditional approach. The results showed improvements in mathematical reasoning, collaboration and academic performance in the experimental group. This experience, in addition to being replicable, highlights the potential of integrating active methodologies and emerging technologies in university mathematics education, in accordance with international trends.

Keywords: active methodologies, artificial intelligence, sequences, series, university mathematics education.

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de sucesiones y series en el nivel universitario representa un desafío significativo en los cursos de Cálculo, debido a su naturaleza abstracta y su complejidad teórica. Este tema exige que los estudiantes dominen no solo los procedimientos técnicos, como hallar límites y analizar convergencias, sino que también comprendan profundamente los fundamentos teóricos que sustentan estos conceptos. En un contexto educativo moderno, donde las competencias digitales y la resolución de problemas interdisciplinarios son fundamentales, resulta crucial adoptar enfoques pedagógicos que potencien tanto el aprendizaje conceptual como las habilidades prácticas.

Diversas investigaciones han demostrado que las metodologías activas y el uso de tecnologías emergentes pueden aumentar la motivación y mejorar el aprendizaje en áreas abstractas, proporcionando a los estudiantes herramientas efectivas para abordar temas complejos (Mazur, 1997; Novak et al., 1999). Este trabajo describe y analiza una experiencia de aula que integra la Enseñanza Justo a Tiempo (JiT), la Instrucción entre Pares (PI) y herramientas de Inteligencia Artificial (en adelante IA) en el estudio de sucesiones y series.

La propuesta se clasifica como una experiencia de aprendizaje y tiene como propósito compartir una implementación concreta, los fundamentos pedagógicos utilizados y los resultados obtenidos (Crouch y Mazur, 2001). La pregunta de investigación que orientó esta experiencia fue la siguiente: ¿cómo influye la integración de JiT, PI y herramientas de IA en la comprensión y el desempeño de los estudiantes en el tema de sucesiones y series?

El objetivo general fue evaluar el impacto de esta estrategia en el rendimiento académico de los estudiantes y en el desarrollo de habilidades clave, como la argumentación lógica y la comunicación matemática, y resaltar la relevancia de estas metodologías en la educación matemática contemporánea.

Estudios recientes (Zawacki Richter et al., 2019; Holmes et al., 2019) han demostrado el impacto positivo del uso de la IA en entornos educativos, particularmente cuando se integra con estrategias activas centradas en el estudiante. Sin embargo, la evidencia sobre su aplicación en la enseñanza de temas abstractos —como las sucesiones y series— aún es limitada, especialmente en contextos semipresenciales universitarios. Este estudio contribuye a llenar ese vacío, articulando enfoques metodológicos innovadores con tecnologías emergentes.

En el contexto de la educación matemática contemporánea resulta imprescindible renovar las estrategias didácticas, de forma que permitan atender la diversidad de estilos de aprendizaje y fomentar un pensamiento matemático más crítico y autónomo. La incorporación de metodologías activas y tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, se presenta como una vía favorable para lograrlo.

2. CONTEXTO

El Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) ofrece cursos presenciales, semipresenciales y virtuales en sus diferentes ciclos. Durante el verano 2024-2025, uno de los autores tuvo la oportunidad de impartir un curso semipresencial de Cálculo y Álgebra Lineal, y el otro autor de manera presencial, por lo que se tomó la decisión de hacer un trabajo relacionado con metodologías activas. Esto debido a que los cursos de verano mantienen los contenidos y programas establecidos, pero permiten ajustes en la evaluación. Esta modalidad permitió comparar diferentes experiencias y analizar su impacto en el aprendizaje.

En este contexto, se propuso a la dirección de la Escuela de Matemática que dos grupos (uno presencial y otro semipresencial) compartieran las mismas evaluaciones en los exámenes, pero con diferentes ponderaciones:

- Grupo 2 (control): 100% exámenes.
- Grupo 4 (experimental): 45% exámenes, 45% trabajos grupales con IA, 10% trabajo grupal en video.

En el grupo experimental, el tema de sucesiones y series se abordó durante las dos primeras semanas con actividades divididas entre temas desarrollados en clases tradicionales y trabajos grupales mediados por IA. En la Tabla 1 se presentan los temas y actividades evaluativas utilizadas en el estudio, y se resalta la integración de la IA en el grupo experimental.

Tabla 1 - Distribución de temas y actividades evaluativas.

Fecha	Temas tradicionales (explicados por el docente o de estudio independiente)	Trabajos grupales con Inteligencia Artificial
Martes 10 de diciembre del 2024	Sucesiones (introducción), sucesiones recurrentes: definición, ejemplos y cálculo de algunos términos. Teoremas de convergencia de sucesiones	Monotonía de sucesiones y Convergencia de sucesiones (Primer trabajo grupal con un valor de 2,5% con respecto al total del curso)
Miércoles 11 de diciembre del 2024	Definición de serie infinita de números reales y Sumas parciales	Definición de convergencia y divergencia de series y Condición necesaria para convergencia de series (Segundo trabajo grupal con un valor de 2,5%)
Jueves 12 de diciembre del 2024	Serie geométrica y Serie telescópica (presencial)	Criterio de la integral, P-series y Serie armónica (Tercer trabajo grupal con un valor de 2,5%)
Viernes 13 de diciembre del 2024	Criterios de convergencia para series de términos positivos, comparación directa y comparación en el límite (estudio independiente)	

Fecha	Temas tradicionales (explicados por el docente o de estudio independiente)	Trabajos grupales con Inteligencia Artificial
Martes 17 de diciembre del 2024	I Parcial (hasta lo visto el jueves 12 de diciembre)	
Miércoles 18 de diciembre del 2024	Criterio de la Razón, Criterio de la Raíz y Series alternadas (presencial)	Criterio de Leibnitz y aproximación de series (teorema de la cota del error) (Cuarto trabajo grupal con un valor de 2,5%) Convergencia condicional y absoluta (Quinto trabajo grupal con un valor de 2,5%)
Viernes 20 de diciembre del 2024	II Parcial (hasta lo visto el miércoles 18 de diciembre)	

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, el planteamiento de las clases en el grupo experimental estuvo diseñado de tal manera que en la primera hora y media de clases se hizo una exposición de los contenidos, y en la siguiente hora se formaron grupos aleatorios de tres o cuatro personas. Es importante señalar que los estudiantes contaban con conocimiento previo de los ejercicios. Se contó, además, con la ayuda incondicional de dos asistentes (estudiantes del docente que ya habían aprobado el curso). Es importante indicar que, en este tiempo, los estudiantes debían hacer en grupo un estudio escrito con la evidencia, la cual debían digitalizar y colocar en la plataforma institucional conocida como TEC Digital. Por otro lado, el grupo control mantuvo clases magistrales 100%, donde la docente expuso los temas con pequeños espacios en los cuales los estudiantes podían intervenir en la resolución de algunos ejercicios, o bien con dudas.

3. LA ENSEÑANZA JUSTO A TIEMPO EN EL CURSO EXPERIMENTAL

Según Simkins y Maier (2010), la enseñanza justo a tiempo (JiTT) promueve la participación en clase mediante asignaciones previas realizadas en línea. Estas tareas permiten al docente diseñar actividades adaptadas a la comprensión de los estudiantes. Para el éxito de esta metodología, es crucial la motivación estudiantil y la preparación previa de materiales por parte del docente.

En esta experiencia se asignaron lecturas y videos relacionados con sucesiones y series, que fueron revisados antes de las clases. Aunque no todos los estudiantes participaron, quienes lo hicieron mostraron un mayor entusiasmo y comprensión durante las actividades grupales. Los temas para este desarrollo fueron los criterios de convergencia para series de términos positivos y comparación directa y en el límite. Incluso se abarcaron los temas de series alternadas, convergencia absoluta y condicional.

Es importante destacar que se incentivó el estudio individual de los ejercicios presentados a los estudiantes antes del trabajo grupal, y que el docente del curso indicó el repaso de la materia por medio de videos de clases anteriormente hechas.

4. LA INSTRUCCIÓN ENTRE PARES EN EL CURSO EXPERIMENTAL

La Instrucción entre Pares (PI) —propuesta por Mazur (1997)— fomenta la discusión en pequeños grupos mediante preguntas conceptuales. En esta metodología, los estudiantes:

1. Responden individualmente una pregunta.
2. Discuten sus respuestas con compañeros.
3. Reciben retroalimentación del docente; además, este último proporciona explicaciones sobre la respuesta correcta.

La PI se implementó mediante trabajos grupales estructurados en tres fases: 1) resolución individual, 2) discusión colaborativa con inteligencia artificial, y 3) retroalimentación guiada por el docente. Cada sesión incluyó preguntas validadas con Mathematica u otro programa de la misma naturaleza para asegurar coherencia temática. Los estudiantes conocían previamente las preguntas planteadas y, en equipo, colaboraron para discutir y presentar la solución de los ejercicios. Este enfoque integró el análisis y la escritura de soluciones, y utilizó la inteligencia artificial como soporte para desarrollar y perfeccionar sus respuestas.

5. EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial (IA) adquiere cada vez mayor relevancia en el ámbito educativo, pues ofrece oportunidades para la personalización de la enseñanza y la retroalimentación inmediata al estudiantado, lo que resulta especialmente útil en la formación matemática (Holmes et al., 2019; Zawacki Richter et al., 2019). Además, la capacidad de la IA para analizar grandes volúmenes de datos y proponer estrategias de resolución impulsa el desarrollo de competencias clave como el razonamiento lógico, la resolución de problemas y la toma de decisiones informadas (Jordan y Mitchell, 2015). No obstante, se enfatiza la importancia de adoptar estas herramientas de manera responsable y equitativa, garantizando el acceso a todos los estudiantes y evitando sesgos que perpetúen desigualdades (UNESCO, 2021). Por ejemplo, el caso de estudiantes que usan IA permite acceder a un conocimiento de uso inmediato lo cual pone en desventaja a aquellos que sí. En el caso de esta experiencia, se garantizó y revisó que existiera acceso a internet en el aula y que al menos uno de los miembros del grupo formado tuviera acceso a una IA. El docente indicó la importancia y necesidad de valorar las respuestas con diferentes IAs para generar insumos en las evidencias de cada trabajo grupal.

Es importante indicar que, a pesar de los avances documentados en el uso de metodologías activas en matemáticas, la articulación efectiva entre estas herramientas e IAs aún representa un campo emergente de estudio. Esta investigación busca aportar evidencia empírica sobre los beneficios de dicha integración, particularmente en contextos semipresenciales.

6. SOBRE LAS INSTRUCCIONES GENERALES PARA LOS TRABAJOS GRUPALES

Esta sección describe el diseño y desarrollo de preguntas que guiaron los trabajos grupales relacionados con sucesiones y series. A continuación, se detallan y explican cada uno de los apartados:

6.1. Tema del Día

Se define el contenido específico que los estudiantes trabajarán durante la sesión, enfocado en un aspecto particular del tema de sucesiones y series. Por ejemplo, en una sesión podrían abordar el criterio de la integral o el criterio de comparación. El propósito es asegurar que los ejercicios estén alineados con los contenidos clave del curso y que los estudiantes profundicen en el tema central del día.

6.2. Objetivos del Ejercicio

Cada ejercicio tiene objetivos claros y bien definidos, que buscan desarrollar habilidades específicas. Por ejemplo:

1. Comprender la convergencia o divergencia de sucesiones o series.
2. Aplicar criterios de convergencia.
3. Justificar resultados utilizando lenguaje y notación matemática formal.

El propósito es establecer metas claras y ayudar a mantener el enfoque del grupo, de forma que se pueda evaluar de manera objetiva el logro de los aprendizajes esperados.

6.3. Dinámica del Grupo

1. Formación de grupos aleatorios: Los estudiantes se agrupan en equipos de 2 a 4 personas de manera aleatoria para fomentar la interacción entre compañeros que usualmente no trabajan juntos. El propósito es promover el trabajo colaborativo y habilidades interpersonales, además de evitar que se formen grupos de afinidad preestablecidos.
2. Propuesta inicial con IA: Cada grupo utiliza una herramienta de inteligencia artificial (por ejemplo, ChatGPT) para generar una solución inicial al problema planteado. La idea es aprovechar la IA como punto de partida para explorar la solución y reflexionar sobre sus limitaciones.
3. Discusión grupal: Tras obtener la propuesta inicial, los estudiantes deben:
 - Analizar si la solución de la IA es correcta.

- Identificar errores y explicar por qué ocurren.
- Justificar cada paso usando lenguaje matemático formal.

El objetivo en este paso es fomentar el pensamiento crítico, la identificación de errores y la precisión matemática, además de consolidar el conocimiento a través de la discusión.

6.4. Metodología de Trabajo

1. Instrucción entre Pares: Cada miembro debe explicar sus ideas y razonamientos al resto del grupo. Esto asegura que todos los integrantes comprendan la solución. La idea es promover la comunicación efectiva y el aprendizaje mutuo.
2. Enseñanza Justo a Tiempo: Cuando surjan dudas, los estudiantes pueden pedir ayuda al asistente o docente para recibir orientación específica en el momento en que lo necesiten. Además, el ejercicio se presentó un día antes a los estudiantes para un estudio previo. El propósito es evitar que los grupos queden estancados y facilitar la comprensión oportuna.
3. Aprendizaje Cooperativo: Cada integrante aporta sus fortalezas y conocimientos para trabajar en conjunto en la resolución del ejercicio. Con ello se fortalece la colaboración y se resalta la importancia de la diversidad en el aprendizaje.

Este diseño permitió comparar de forma controlada el impacto de las metodologías activas apoyadas por IA en el rendimiento académico y en la percepción del aprendizaje por parte del estudiantado.

6.5. Aspectos a Evaluar

Durante el desarrollo de los ejercicios se evaluaron los siguientes aspectos:

1. Calidad de la discusión y colaboración: La interacción entre los estudiantes y su capacidad para trabajar de manera efectiva como equipo.
2. Uso adecuado del lenguaje matemático: La formalidad y precisión con la que justificaron las soluciones.
3. Capacidad de identificar y corregir errores: La habilidad para analizar críticamente las propuestas de la IA, reconocer errores y explicar cómo corregirlos.

Para ello, tanto el docente como los asistentes utilizaron una lista de cotejo, con el fin de evaluar objetivamente estos aspectos. Esta lista de cotejo se subió a la plataforma institucional TEC Digital, donde tanto los estudiantes como los asistentes tuvieron acceso. La descripción de la lista de cotejo se hace en la sección 8.

6.6. Entrega del Ejercicio

Al final de la sesión, los grupos debían presentar su solución al resto de la clase, o bien entregarla de manera escrita por medio de la plataforma. Las presentaciones debían incluir:

1. Una solución final bien justificada.
2. Una reflexión breve sobre:
 - El proceso seguido en el grupo.
 - La experiencia de usar inteligencia artificial como herramienta de apoyo.

En casos específicos, los estudiantes entregarían solo una hoja con la solución y el profesor se encargaría de brindar retroalimentación de forma individual.

En este punto, la idea es promover que los estudiantes reflexionen sobre su aprendizaje, compartan sus resultados y reciban retroalimentación para mejorar sus habilidades.

Figura 1 – Ejemplo de instrucciones para el primer trabajo grupal.

Instrucciones Previas para los Ejercicios

Tema del día: Monotonía de sucesiones y convergencia de sucesiones

Objetivo del Ejercicio

- Resolver problemas relacionado con la monotonía y la convergencia de sucesiones.
- Utilizar inteligencia artificial para obtener y analizar soluciones.

Dinámica del Grupo

1. Se harán grupos de 2-4 estudiantes de forma aleatoria.
2. Cada grupo trabajará en un ejercicio asignado, para lo cual, utilizando una herramienta de IA, deberá proponer una solución inicial (por ejemplo, ChatGPT).
3. Después de obtener la solución de la IA, discutan en grupo para:
 - Analizar si la solución es correcta.
 - Identificar posibles errores y explicar por qué ocurren.
 - Justificar cada paso utilizando lenguaje matemático adecuado.

Metodología de Trabajo

- **Instrucción entre Pares:** Cada miembro del grupo debe explicar su razonamiento a los demás y asegurarse de que todos comprendan la solución.
- **Enseñanza Justo a Tiempo:** Si surgen dudas, pidan ayuda al asistente para recibir orientación específica en el momento adecuado.
- **Aprendizaje Cooperativo:** Resuelvan el ejercicio en conjunto, aprovechando las fortalezas de cada miembro del grupo.

Aspectos Para Evaluar

Durante el ejercicio, se evaluarán los siguientes aspectos:

1. La calidad de la discusión y la colaboración dentro del grupo.
2. El uso adecuado del lenguaje matemático.
3. La capacidad de identificar y corregir errores en las soluciones propuestas por la IA.

Para ello, los asistentes y el docente tendrán una lista de cotejo para caracterizar todos estos aspectos. Puede ver la lista de cotejo respectiva en el TEC Digital

Entrega del Ejercicio

Al final de la sesión, cada grupo presentará su solución al resto de la clase. Incluyan una breve reflexión sobre el proceso y el uso de la inteligencia artificial. En algunos casos solo se pedirá en una hoja la solución y el profesor hará una retroalimentación.

Fuente: Elaboración propia.

Este enfoque metodológico integra tecnologías emergentes, trabajo colaborativo y evaluación formativa, y tiene la ventaja de brindar a los estudiantes una experiencia completa para aprender temas abstractos de manera dinámica y efectiva.

7. SOBRE LAS PREGUNTAS ASOCIADAS A LOS TRABAJOS GRUPALES EN EL TEMA DE SUCESIONES Y SERIES

Para cada trabajo grupal se generaron 12 preguntas haciendo uso de la inteligencia artificial; la misma desarrolló una serie de ejercicios diversos relacionados con el tema del día, los cuales fueron revisados por el docente y sus asistentes para asegurar su congruencia y corrección. Por ejemplo, en el primer trabajo se le solicitó a la IA: “genere 12 ejercicios sobre monotonía y convergencia de sucesiones conforme a las indicaciones previas”. La IA presentó un borrador que fue revisado y corregido antes de solicitar su conversión a formato LaTeX, para posteriormente compilarlo en un documento PDF disponible en la plataforma institucional.

Figura 2 - Ejercicios diseñados para el primer trabajo grupal.

Ejercicios

1. Demuestra si la sucesión $a_n = \frac{1}{n}$ es monótona. ¿Es creciente o decreciente? Utiliza IA para verificar tu resultado y explica tu razonamiento.
2. Determina si la sucesión $b_n = (-1)^n \cdot \frac{1}{n}$ converge. Discute con tu grupo si esta sucesión es monótona y justifica tu respuesta.
3. Dada la sucesión $c_n = \frac{2n+3}{3n+1}$, ¿es convergente? Utiliza IA para encontrar el límite y explica si la sucesión es creciente o decreciente.
4. Investiga si la sucesión $d_n = \sin\left(\frac{1}{n}\right)$ es monótona y si converge. Comprueba tu resultado utilizando una herramienta de IA.
5. Sea $e_n = \frac{n^2}{n^2+1}$. ¿Esta sucesión es monótona? Si es así, ¿es creciente o decreciente? Justifica tu respuesta y confirma con IA.
6. La sucesión $f_n = \ln(n) - \ln(n+1)$ es monótona. Determina si es creciente o decreciente. Utiliza IA para verificar tu análisis y explica con lenguaje matemático.
7. Considera la sucesión $g_n = \frac{(-1)^n}{n}$. Discute si es monótona y si converge. Usa IA para obtener una representación gráfica y analizar su comportamiento.
8. Analiza la convergencia de la sucesión $h_n = \left(\frac{n}{n+1}\right)^n$. Utiliza IA para encontrar el límite y compara con los resultados de tu grupo.
9. Demuestra que la sucesión $i_n = \frac{n!}{n^n}$ converge a cero. Utiliza IA para realizar cálculos numéricos y explica tu razonamiento paso a paso.
10. Dada la sucesión $j_n = \left(\frac{3}{4}\right)^n$, determina si es monótona y si converge. Usa IA para visualizar la sucesión y justifica con argumentos matemáticos.
11. Sea $k_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i^2}$. ¿Es esta sucesión monótona? ¿Converge a un valor finito? Utiliza IA para explorar el comportamiento de la suma parcial.
12. Analiza la sucesión $l_n = \frac{\cos(n)}{n}$. Determina si converge y discute con tu grupo si es monótona. Usa IA para graficar la sucesión y comprobar tus conclusiones.

Fuente: Elaboración propia.



Es pertinente señalar que los ejercicios fueron evaluados por el docente mediante software especializado como Mathematica o GeoGebra, con el propósito de verificar su viabilidad en relación con el tema del día.

La propuesta grupal presentada a los estudiantes estableció que, dentro de una hora, se debían analizar los aspectos solicitados en las instrucciones señaladas en la Figura 1. Es importante indicar que a cada grupo le correspondió trabajar un ejercicio diferente.

8. SOBRE LA EVALUACIÓN IMPLEMENTADA PARA EL TEMA DE SUCESIONES Y SERIES

Para cada uno de los trabajos grupales indicados, la calificación fue atendida por los dos estudiantes asistentes y supervisada por el docente. Para ello, se utilizó una lista de cotejo donde se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Todos los miembros participaron activamente.
- Se respetaron las opiniones y turnos de palabra.
- Se llegó a un consenso fundamentado para resolver el ejercicio.
- Se identificaron y discutieron errores o dudas durante la actividad.
- Se utilizó terminología matemática adecuada.
- Las explicaciones fueron claras y precisas.
- Se presentó una justificación correcta del procedimiento.
- Se utilizó una herramienta de IA para resolver el ejercicio.
- Se identificaron errores o aciertos en las soluciones generadas por la IA.
- Se reflexionó sobre las limitaciones o fortalezas del uso de la IA.

Recalcando que cada grupo realizó un ejercicio diferente, los asistentes verificaron su seguimiento de acuerdo con las pautas establecidas. Cualquier duda se dirigía al docente, quien supervisaba y guiaba a los estudiantes. A pesar de que se generaron 12 ejercicios, solo se formaron 11 grupos de cuatro personas; algunos tuvieron tres miembros, ya que la matrícula en el grupo experimental fue de 43 personas.

A continuación, en la Figura 3 se presentan ejemplos del trabajo realizado por los estudiantes en el grupo experimental, y se evidencia la aplicación de la IA en la resolución de ejercicios matemáticos.

Figura 3 – Evidencias del trabajo del 10 de diciembre.



Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 4 y 5 se presentan evidencias de los trabajos grupales con el uso de IA.

Figura 4 – Evidencia de una respuesta de uno de los trabajos grupales con el uso de IA en convergencia de series.

5. Analiza la convergencia de la serie

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n(\ln n)^2}$$

Utiliza IA para aplicar el criterio de la integral y determinar si la serie converge o diverge.

En primera instancia, los cuatro integrantes le preguntamos a Chat GPT que la resolviera utilizando el criterio de la integral, ya que como la serie es continua, positiva y decreciente, se puede utilizar la integral, ya que su convergencia o divergencia van a ser los mismos mientras x sea mayor o igual al contador.

Por tanto, primero evaluamos la monotonía de la función:

Para analizar la monotonía de la serie $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n(\ln n)^2}$, debemos centrarnos en su término general:

$$a_n = \frac{1}{n(\ln n)^2}.$$

La monotonía se refiere a si a_n es decreciente o no. Para verificar esto, podemos estudiar el signo de la diferencia $a_{n+1} - a_n$, o alternativamente, usar derivadas para la función continua correspondiente $f(x) = \frac{1}{x(\ln x)^2}$.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 – Evidencia de una respuesta de uno de los trabajos grupales con el uso de IA en la cota del error de una serie alternada.

Reflexión: Lo realizamos utilizando ChatGPT, Gemini, Symbolab. ChatGPT al inicio nos dio el resultado inmediato sin mucha explicación nos dijo que era 31 sin saber porque, mientras Gemini, nos dio un voto que no tenía sentido ni nos ayudo a resolverlo correctamente.

Gemini

Criterio de Leibniz:

Como es una serie alternada, podemos aplicar el criterio de Leibniz para determinar su convergencia. Este criterio establece que si los términos de una serie alternada decrecen monótonamente hacia cero, entonces la serie converge.

Solución numérica:

Esta desigualdad es un poco complicada de resolver analíticamente. Lo más práctico es utilizar un método numérico, como por ejemplo, tanteo sucesivo o un software matemático.

Utilizando software matemático:

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que en el tema de sucesiones y series se realizaron cinco trabajos, donde la mayoría de los grupos lograron cumplir con todas las instrucciones establecidas. Además, se dejó evidencia escrita que refleja tanto la discusión como la polarización de ideas entre los integrantes.

Con el objetivo de cuantificar la viabilidad de la metodología, el primer parcial se aplicó de forma individual, en la misma fecha y hora, tanto para los estudiantes del grupo control como del grupo experimental. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Grupo control (Presencial)

- **Distribución de Notas:**

$N < 60$: 20 estudiantes.

$60 \leq N < 70$: 6 estudiantes.

$N \geq 70$: 15 estudiantes.

- **Nota Promedio:** 60 (redondeado con 41 personas).

- **Notas Altas:** 1 estudiante con 100 y 2 con 90.

Grupo Experimental (Semipresencial)

- **Distribución de Notas:**

$N < 60$: 12 estudiantes.

$60 \leq N < 70$: 9 estudiantes.

$N \geq 70$: 22 estudiantes.

- **Nota Promedio:** 66 (redondeado con 43 personas).
- **Notas Altas:** 2 estudiantes con 100 y 4 con 90.

A partir de la información, se observa que el grupo experimental (semipresencial) presenta, en general, un mejor desempeño que el grupo control (presencial). En particular, puede indicarse:

1. Menor cantidad de estudiantes con nota menor a 60: En el grupo experimental hay 12 estudiantes con calificaciones por debajo de 60, mientras que en el grupo control hay 20. Esto, proporcionalmente, es un indicador de que hubo menos reprobaciones o calificaciones muy bajas en el grupo experimental.
2. Mayor cantidad de estudiantes con calificaciones mayores o iguales que 70: El grupo experimental cuenta con 22 estudiantes en este rango, frente a 15 en el grupo control. Este dato indica que más participantes del grupo experimental obtuvieron notas sobresalientes o satisfactorias.
3. Promedio más alto: La nota promedio en el grupo experimental (66) supera en 6 puntos a la del grupo control (60). Aunque no se trata de una diferencia significativa, sí resulta consistente con la mayor proporción de notas altas y la menor proporción de calificaciones deficientes.
4. Más estudiantes con notas muy altas (mayores o iguales a 90): En el grupo experimental hay dos estudiantes que alcanzan 100 y cuatro que logran 90; en cambio, en el grupo control se registra un estudiante con 100 y dos con 90. Esto refuerza la tendencia de mejores calificaciones en el grupo experimental.

En conjunto, estos datos sugieren un mejor desempeño académico en el grupo experimental, que podría atribuirse a las particularidades de la modalidad semipresencial y a los factores pedagógicos específicos de ese grupo (por ejemplo, uso de tecnologías de apoyo, metodologías activas, etc.). Los exámenes desempeñaron un papel importante en la evaluación tanto de la comprensión escrita como la conceptual.

Es importante aclarar que los instrumentos de evaluación utilizados, como las listas de cotejo y los exámenes, fueron validados previamente por los docentes responsables y contrastados con criterios similares utilizados en experiencias previas de evaluación formativa. Esto garantiza la posibilidad de replicación de esta estrategia en contextos análogos.

9. OPINIONES DE LOS ESTUDIANTES

Otro aspecto que fue considerado para el grupo experimental fue la opinión de los estudiantes; por tal motivo se les pasó una serie de cuestionarios en formato digital. En la semana 3 del curso aplicó uno de los cuestionarios a los estudiantes para conocer su opinión sobre las metodologías implementadas. Es importante indicar que los estudiantes habían realizado ya dos pruebas parciales en las semanas anteriores. La encuesta constó de 10 preguntas, donde

las primeras se centraron en datos generales como nombre, apellido y carné. Los siguientes apartados hacen referencia a las restantes preguntas dirigidas a los estudiantes.

9.1. Acceso al material del curso

En la cuarta pregunta, la cual fue de múltiple respuesta se preguntó: “¿Cómo accedió al material del tema de sucesiones y series?” De las 41 respuestas recopiladas se presenta a continuación su interpretación:

- 39 estudiantes indicaron que utilizaron los videos del profesor (38%).
- 32 mencionaron la revisión del material asincrónico a través del TEC Digital (31%).
- 17 accedieron al material compartido por el grupo de Telegram (17%).
- 12 usaron material proporcionado por otros docentes (12%).
- 2 personas recurrieron a otras fuentes, como videos en Internet (2%).

9.2. Comprensión del tema

En la quinta pregunta, mediante una escala de Likert (nivel 1: Deficiente - nivel 5: Excelente), se evaluó: “¿Cómo califica su comprensión sobre el tema de sucesiones y series?” Los resultados promedio fueron de 4.24, con las siguientes distribuciones:

- 13 estudiantes indicaron nivel 5.
- 25 estudiantes indicaron nivel 4.
- 3 estudiantes indicaron nivel 3.

9.3. Uso de la IA en trabajos grupales

En la sexta pregunta, también con escala de Likert, se consultó: “¿Cómo considera el uso de la IA en los trabajos grupales para el tema de sucesiones y series?” El promedio fue de 4.78, con los siguientes resultados:

- 33 estudiantes marcaron el nivel 5.
- 7 estudiantes marcaron el nivel 4.
- 1 estudiante marcó el nivel 3.

9.4. Experiencia con la IA en trabajos grupales

En la séptima pregunta: “Describa con sus palabras su experiencia con los trabajos grupales en los que se usó alguna IA para el tema de sucesiones y series”, los estudiantes compartieron diversas opiniones. Entre los comentarios destacamos los siguientes:

- “Me parece una buena forma de utilizar una herramienta como la IA más como apoyo del curso en lugar de ‘satanizarlo’, como se suele decir.”
- “La verdad enseñó bastante sobre cómo usar la IA de manera correcta y crítica, porque siempre hay que analizar lo que estamos viendo.”
- “Para mí excelente, creo que es una manera que se debe seguir implementando para la enseñanza en general. Pues, además de tener apoyo virtual, el trabajo en grupo permite aprender de una manera activa. De hecho, para mí que estoy repitiendo el curso, hasta ahora puedo decir que voy comprendiendo bien la materia.”
- “La inteligencia artificial puede ser una muy buena herramienta para encontrar diferentes maneras de resolver un problema. Sin embargo, con el CAL puede alejarse de los temas del curso, por lo que es muy importante dar instrucciones específicas. En general, mi experiencia fue muy buena, porque con las resoluciones paso a paso se podía encontrar la fuente de error que impedía al grupo llegar a la respuesta correcta.”
- “Muy bonito y se aprende mucho. Usar la IA de modo crítico permite analizar mejor la materia, y el proceso de asegurarse de que la respuesta de ChatGPT sea correcta hace que uno como estudiante investigue bien los temas.”

9.5. Sentir sobre el curso semipresencial

En la octava pregunta: “¿Cuál es su sentir como estudiante en el curso semipresencial?”, los estudiantes expresaron opiniones variadas. Algunos comentarios destacados incluyen los siguientes:

- “Me siento cómodo con el profesor y las evaluaciones, pero al ser mi primera vez siento que debo estudiar aún más. Y al ir el curso muy rápido, cuesta más ese aspecto.”
- “Que sea semipresencial facilita la comprensión de los temas, porque permite estudiar con mayor calma, contrario a clases que podrían ir contra tiempo y ver los temas más rápidos.”
- “Pienso que es una modalidad bastante flexible, ya que el estudiante puede organizar su propio tiempo, y la revisión de la materia se vuelve más dinámica que en clases magistrales.”
- “Que el curso sea semipresencial brinda espacio al estudiante para tomar las clases asincrónicas con calma y practicar a su ritmo. Las clases presenciales ayudan mucho a resolver dudas de forma inmediata, ya que se cuenta con el conocimiento del profesor

y los asistentes. En general, creo que es una buena combinación, pero el resultado final siempre dependerá del tiempo y esfuerzo que le dediquen los estudiantes.”

- “Bastante cómodo, el horario es bastante bueno. Las dudas del estudio independiente se pueden abarcar a mayor profundidad durante las lecciones presenciales.”

9.6. Comprensión general de la materia

En la novena pregunta se evaluó: “¿Cuál ha sido su comprensión de la materia en términos de una escala general?”, utilizando una escala de Likert. El promedio fue de 4.56, con los siguientes resultados:

- 24 estudiantes seleccionaron el nivel 5.
- 16 estudiantes seleccionaron el nivel 4.
- 1 estudiante seleccionó el nivel 3.

9.7. Sugerencias para la metodología

Por último, en la décima pregunta: “Sugerencias o comentarios para la metodología implementada en el curso”, los estudiantes ofrecieron las siguientes ideas:

- “Tal vez recibir alguna o algunas clases virtuales sincrónicas.”
- “Repaso de algunos temas muy importantes vistos con el uso de IA, por parte del profesor, para evacuar dudas.”
- “Tal vez sería dar una introducción muy pequeña sobre el tema que se va a ver en los trabajos grupales.”
- “Hacer un plan para cursos semestrales en los que se aplique la metodología de los trabajos.”
- “Dar un poco más de guía sobre los temas que se estudian al desarrollar actividades con IA, ya que, si un estudiante no tiene conocimiento del tema, no tiene el criterio para cuestionar los resultados dados por las IA.”

Por otro lado, se aplicó un cuestionario al grupo control (modalidad presencial), conformado por una matrícula inicial de 43 estudiantes, de los cuales 34 completaron el instrumento al finalizar el curso.

El formulario diseñado para este grupo abarcó siete dimensiones de análisis: comprensión de los temas, técnicas de estudio, utilización de recursos digitales, sugerencias y comentarios, perfil de los estudiantes, asistencia a clases y desempeño del docente. No obstante, para garantizar una triangulación metodológica efectiva con los resultados del grupo experimental,

se focalizó la interpretación de los datos en tres dimensiones clave: comprensión de los temas, técnicas de estudio y utilización de recursos digitales.

Los siguientes apartados describen las tres dimensiones mencionadas.

9.8. Comprensión de los Temas

Para el tema de Sucesiones y series se evaluó utilizando una escala de Likert y la pregunta: “¿Cómo califica su comprensión del tema de Sucesiones y Series?” El promedio de las respuestas fue de 4.

- 13 estudiantes seleccionaron el nivel 5.
- 9 estudiantes seleccionaron el nivel 4.
- 8 estudiante seleccionaron el nivel 3.
- 3 estudiantes seleccionaron el nivel 2.
- 1 estudiante seleccionó el nivel 1.

Se les pidió, además, que comentaran “¿Cómo justifica su desempeño en la prueba?” A continuación, se destacan los siguientes comentarios:

- “Entendí perfectamente los temas vistos y practiqué lo suficiente para apoyar lo explicado en clase.”
- “Los primeros temas de series tienen muchos conceptos y no lo practiqué lo suficiente.”
- “Como la profesora sube todas las notas puedo concentrarme en prestar atención y comprender el tema en lugar de andar intentando anotarlo todo.”
- “El método de estudio me ayudó bastante, estudiar todos los días, así la materia no se me olvida, solo en series que me costó un poco entender, pero más que todo porque llevé CDI hace mucho y me costó recordar derivación e integración.”

9.9. Técnicas de Estudio

Se les preguntó “¿Qué técnica o técnicas de estudio utilizó para este tema?” Algunos comentarios son los siguientes:

- “Repasar la materia el mismo día que la vimos, rehacer los ejercicios de la clase y tratar de comprenderlos y luego intentar algunos ejercicios extra por mi cuenta.”
- “Práctica de ejercicios y ver videos, hacer resúmenes del material de cátedra.”

- “Realmente no acostumbro a aplicar alguna técnica específica, pero lo que me sirve es revisar ejercicios desarrollados por otra persona o ver videos de personas resolviendo ejercicios, de esta manera puedo adquirir los conocimientos y procedimientos necesarios, luego de interiorizar dichos procedimientos realizo un ejercicio y avanzo al siguiente tema, más tarde buscaría hacer otro ejercicio de manera mental para ver qué tanta información almacené.”
- “Creé mis propios resúmenes durante la clase y los estudié constantemente.”

9.10. Recursos digitales utilizados

Se les preguntó si hicieron uso de algún recurso adicional para estudiar. Algunos de los comentarios son los siguientes:

- “Algunos videos de YouTube por si tenía dudas en algún ejercicio.”
- “ChatGTP cuando no entendía algo.”
- “ChatGTP, YouTube, GeoGebra, Symbolab.”
- “Material de clase, notas del TEC Digital, Internet y otros recursos tecnológicos.”

Por tanto, la mayoría de los estudiantes indicaron que los recursos digitales empleados fueron: ChatGPT, Symbolab, videos, libros y herramientas digitales como tabletas.

10. PERCEPCIÓN DE LOS ASISTENTES

Es importante destacar que a los asistentes del curso experimental se les pasó también una encuesta con una serie de preguntas. Se destacan las siguientes con algunos de sus comentarios:

10.1. Comente cómo percibió el trabajo de los estudiantes con el uso de IA

Ante esta pregunta, los asistentes comentaron:

- “Agradable, aunque tal vez muy sencillo para 4 o 3 estudiantes juntos”
- “En el ámbito de los trabajos en clase (haciendo referencia a los ejercicios a realizar), a mi parecer fueron un poco “suaves”, pero a la vez eso se entiende dado a que se tuvo que considerar el factor del tiempo para la realización de los ejercicios. En la parte del cómo los estudiantes trabajaron en los ejercicios, si bien el propósito de las IAs es la ayuda en la resolución de los ejercicios, algunos estudiantes simplemente “copiaban y pegaban” lo que les decía/daba la IA, sin considerar si lo que arrojaba estuviese bien o mal. Además, no había un razonamiento en lo que se realizaba, solo se hacía sin cuestionar. Aunque, cabe mencionar, que esto puede deberse más a un factor de compromiso y dedicación por parte del estudiantado por su educación (el estudio independiente), más que por la metodología del curso.”

10.2. Comente qué tan importante considera fue el uso de IA en el curso

Ante esta pregunta, los asistentes comentaron:

- “Bastante, pues los estudiantes se pueden dar una idea de cómo estudiar, así como verificar pasos en los problemas asignados.”
- “La implementación de las IAs en cursos de matemática suele, o solía ser, algo arriesgado dado a que pueden ocurrir errores de cálculos y/o interpretación de las preguntas; dejando eso, el uso de IA funcionaría, según mi criterio, como una ayuda al “cómo entrarle” y “qué sigue” de un ejercicio. En ese aspecto considero que la IA es demasiado útil para la resolución de problemas matemáticos, pero para la realización completa y que solo se “copie y pegue” siento que no es lo mejor.”

10.3. Comente, ¿cómo vivió esta experiencia?

Ante esta pregunta, los asistentes comentaron:

- “Como asistente me gustó que los estudiantes tuvieran nuevas opciones de formas de estudio, aunque para esto los estudiantes deben tener conciencia en la forma que usan las IAs.”
- “La manera en la que se implementó esta metodología fue algo interesante y nuevo en el ITCR (al menos de mi conocimiento), aún así, logró ser algo bueno con sus detallitos que pulir (rúbrica más flexible).”

10.4. Comente qué tan satisfactorio o engorroso fue el trabajo que le asignó el profesor

Ante esta pregunta, los asistentes comentaron:

- “Pues que el curso fue en el período de verano, los trabajos no se consideran de tanta carga, sin embargo, el hecho de tener que calificar rápidamente los trabajos genera cierta presión, pero me gustaron mucho los trabajos, pues sirven para recordar detalles de los temas del curso”
- “Si bien el calificar mediante rúbrica no es demasiado complicado, la parte que más cuesta, al menos en mi caso particular, es la calificación de los aspectos cualitativos de cada estudiante a la hora de la adaptación de la IA junto con la asignación del puntaje en la sección de participación; esto debido a la variedad de grupos a calificar y ayudar en las dudas que tengan. Pero en general, no es trabajo del otro mundo y es algo loguable.”

10.5. Comente qué tan importante es el rol de la asistencia en una actividad como esta.

Ante esta pregunta, los asistentes comentaron:

- “Considero que bastante, pues solamente el profesor no podría solo con 40 estudiantes, pues conlleva tiempo, sin contar los trabajos extras del profesor, por lo tanto, el asistente colabora mucho con los trabajos en clase y calificación de estos.”
- “Al ser varias personas en los cursos de matemáticas, al menos en el ITCR, el calificar a todos una sola persona (docente) es algo casi imposible de realizar en menos de una hora, por lo que el papel de persona asistente es demasiado importante para la agilización del proceso.”

10.6. ¿Qué recomendaciones tiene sobre la lista de cotejo implementada y su viabilidad? Explique

Ante esta pregunta, los asistentes comentaron:

- “Considero que se deberían revisar los criterios de calificación, añadiendo más opciones en lugar de una evaluación binaria de ‘sí’ o ‘no’, como, por ejemplo, una escala porcentual. También sería importante considerar la obligatoriedad de la asistencia según la metodología del curso. Además, se podría evaluar la posibilidad de que los estudiantes pierdan más puntos por ciertos motivos específicos. Respecto a los trabajos grupales, sugiero reducir su peso en la calificación final y aumentar la cantidad de problemas asignados, de modo que haya al menos un problema por estudiante dentro del grupo.”
- “Lo que recomendaría yo, tomando como referencia a la experiencia, sería la utilización de una rúbrica que no sea binaria; además de la implementación de una parte de calificación individual para asegurar “forzar” el trabajo de todos, sin que la falla de un individuo afecte significativamente al grupo.”

11. DISCUSIÓN GENERAL

11.1. Resultados de los Trabajos Grupales con IA

Los estudiantes ofrecieron opiniones variadas sobre los trabajos grupales en los que se utilizó una IA para el tema de sucesiones y series. Se destacan los siguientes temas principales:

1. Valoración Positiva de la IA como Herramienta de Apoyo

- La IA fue útil para verificar resultados, identificar errores y brindar explicaciones detalladas.

- Permite analizar el razonamiento y detectar incongruencias, por lo que fortalece el aprendizaje.

2. Fomento del Trabajo en Equipo

- La colaboración grupal facilitó el aprendizaje activo y la resolución de dudas.
- Las discusiones y el intercambio de ideas enriquecieron la comprensión de los temas.

3. Limitaciones y Recomendaciones

- Algunos estudiantes encontraron inconsistencias en las respuestas de la IA, lo que requirió análisis adicional.
- Se enfatizó la necesidad de instrucciones claras para el uso de la IA como complemento.
- Se sugirió incluir una introducción previa por parte del profesor para contextualizar los temas antes de pasar al uso de IA.

4. Impacto en el Aprendizaje

- Los estudiantes valoraron las explicaciones paso a paso proporcionadas por la IA. La combinación de JiTT y PI potenció un aprendizaje autónomo, lo que coincide con hallazgos de Novak et al. (1999). Sin embargo, la dependencia en IAs para resolver ejercicios reveló limitaciones en la autorregulación, un desafío documentado por Holmes et al. (2019) en contextos de implementación tecnológica en el aula.
- El uso de IA —combinado con las discusiones grupales— facilitó la comprensión de conceptos complejos, como los criterios de convergencia y divergencia.

5. Experiencia General

- La mayoría de los estudiantes describieron la experiencia como enriquecedora, útil y productiva.
- Algunos mencionaron que la metodología ayudó a consolidar conocimientos y aumentar la confianza en sus habilidades.

Los hallazgos muestran que las metodologías activas junto con el uso de IA permiten mejorar la comprensión conceptual de los estudiantes. Sin embargo, se identificaron desafíos como la dependencia en la IA para resolver ejercicios, lo que destaca la importancia de fomentar el pensamiento crítico en su uso.

11.2. Resultados del Curso Semipresencial

En cuanto al sentir de los estudiantes sobre el curso semipresencial, se identificaron los siguientes atributos.

11.2.1. Opiniones Positivas

1. Flexibilidad y Organización del Tiempo

- Los estudiantes valoraron la libertad para organizar su tiempo de estudio.
- Facilitó el equilibrio entre el aprendizaje y otras responsabilidades.

2. Equilibrio entre Clases Presenciales y Asincrónicas

- La combinación de sesiones presenciales y contenido asincrónico permitió abordar dudas en persona mientras avanzaban al ritmo propio.

3. Accesibilidad

- Estudiantes que viven lejos apreciaron evitar traslados diarios, reduciendo costos en transporte y alimentación.

4. Mayor Comprensión

- La presión de realizar actividades constantes motivó un estudio más regular, lo que conllevó a una mejora en la comprensión de los temas.

11.2.2. Sugerencias y Áreas de Mejora

1. Ritmo Acelerado

- Algunos mencionaron que la rapidez del curso requirió un esfuerzo adicional.

2. Material Adicional

- Se destacó la importancia de contar con grabaciones de clases y recursos adicionales.

3. Importancia de las Clases Presenciales

- Las sesiones presenciales fueron consideradas fundamentales para resolver dudas y consolidar conceptos.

11.2.3. Metodología y Resultados Académicos

El enfoque metodológico implementado se reflejó tanto en las opiniones de los estudiantes como en sus resultados académicos. En términos cuantitativos, se observó una mejora moderada en el rendimiento del grupo experimental, atribuida a la integración de metodologías activas y al uso pedagógico de herramientas de s. Estas estrategias permitieron:

- Un aprendizaje más profundo.
- Una mejor comprensión de conceptos complejos.
- Un mayor nivel de participación y colaboración grupal.

En la comparación entre ambos grupos, se observó una tendencia favorable en el grupo experimental, no solo en el promedio general de calificaciones, sino también en la proporción de estudiantes que superaron satisfactoriamente los criterios de evaluación. Estos resultados preliminares, si bien no fueron sometidos a pruebas estadísticas inferenciales, permiten plantear la hipótesis de que la combinación de JiTT, PI e IA contribuye positivamente al rendimiento académico.

Se suma a esto el hecho de que los estudiantes valoraron positivamente las estrategias implementadas, aunque también ofrecieron sugerencias para optimizar la experiencia formativa. Entre ellas, destacaron la importancia de contar con instrucciones más claras desde el inicio del curso y una mayor diversidad de recursos didácticos. El apoyo en herramientas tecnológicas aplicado a la combinación de Enseñanza Justo a Tiempo (JiTT) e Instrucción entre Pares (PI) demostró ser un enfoque eficaz para la enseñanza de la matemática en modalidad semipresencial.

El rol de los asistentes académicos fue particularmente relevante. Su cercanía con los estudiantes permitió identificar necesidades específicas de mejora. Entre sus propuestas más destacadas se encuentran la implementación de listas de cotejo estandarizadas para evaluar los trabajos grupales —ajustables a partir de la retroalimentación recibida— y el aumento progresivo en la cantidad de ejercicios por equipo. No obstante, esta última medida debe ser cuidadosamente equilibrada con la disponibilidad de tiempo en clase, para evitar que una mayor carga de actividades comprometa la calidad del aprendizaje o la profundidad de los enfoques pedagógicos.

A partir de las sugerencias del estudiantado, de los asistentes académicos y de la reflexión de los autores, se consideró fundamental definir un conjunto de instrucciones iniciales que orienten a un uso efectivo de la IA en los trabajos grupales.

Instrucciones para el diseño de prompts con IA

Un *prompt* es una instrucción inicial que se introduce en un sistema de inteligencia artificial para generar una respuesta específica. Para apoyar el trabajo de los estudiantes, se pueden ofrecer lineamientos básicos para formular prompts de manera clara, eficiente y pedagógicamente útil. Se enfatizan cuatro recomendaciones principales:

1. Claridad y precisión: formular solicitudes específicas; es decir, evitar preguntas vagas o generales.

2. Evitar ambigüedades: redactar los prompts de forma que no den lugar a múltiples interpretaciones o respuestas erróneas.
3. Proporcionar contexto: incluir información relevante sobre el tema matemático, como el tipo de serie o sucesión que se desea analizar.
4. Experimentar y refinar: probar diferentes formulaciones hasta obtener una respuesta clara, útil y alineada con los objetivos del ejercicio.

A través de estas instrucciones, los estudiantes no solo utilizaron la IA como una herramienta de apoyo técnico, sino que también desarrollaron habilidades para formular preguntas adecuadas, evaluar críticamente las respuestas generadas y mejorar la claridad de sus propias explicaciones. Este enfoque buscó que los trabajos grupales no se limitaran a reproducir respuestas automatizadas, sino que promovieran la reflexión crítica y la construcción colaborativa del conocimiento matemático.

Ejemplo de un prompt aplicado por los estudiantes

Durante el trabajo grupal correspondiente al criterio de la integral, uno de los equipos formuló el siguiente prompt para interactuar con ChatGPT:

“Explica paso a paso cómo aplicar el criterio de la integral para determinar si la serie $\sum(1/(x \ln(x)))$ desde $x = 2$ hasta ∞ es convergente. Justifica cada paso matemáticamente.”

A partir de esta solicitud, el modelo generó una explicación detallada del procedimiento, que fue analizada críticamente por el grupo. Los estudiantes evaluaron la validez de cada paso, identificaron posibles errores en la interpretación del límite impropio e integraron sus propios razonamientos para construir una versión corregida y argumentada de la solución, que luego subieron como evidencia a la plataforma institucional.

Este tipo de interacción promovió un uso responsable de la IA y contribuyó al desarrollo de habilidades metacognitivas como la verificación de resultados, el uso preciso del lenguaje matemático y la capacidad de justificar con claridad cada procedimiento realizado.

En comparación con estudios recientes sobre el uso de IA en educación superior matemática, los hallazgos de esta experiencia coinciden con las tendencias internacionales que promueven la autonomía del estudiante, el aprendizaje autorregulado y el pensamiento crítico (Jordan y Mitchell, 2015; UNESCO, 2021). Sin embargo, este trabajo aporta un enfoque metodológico más integral al combinar tecnologías emergentes con estrategias activas consolidadas, lo que representa un valor añadido para la comunidad educativa.

Además, a partir de las recomendaciones que surgieron del trabajo con estudiantes y asistentes, se propuso generar instrucciones claras para el uso de la IA, incluyendo la redacción de prompts efectivos. Un ejemplo práctico es el siguiente:

“Explicanos, como si fueras un docente universitario que imparte un curso de Cálculo y Álgebra Lineal del TEC, cómo aplicar el criterio de la integral paso por paso para determinar si la serie $\sum(1 / (\ln(x)))$ desde $x = 2$ hasta ∞ es convergente o divergente. Justifica cada paso matemáticamente e indica sugerencias de revisión bibliográfica.”

A partir de este tipo de interacciones, se puede promover un uso reflexivo y crítico de la IA que permita favorecer el desarrollo de habilidades metacognitivas, argumentativas y de validación matemática.

12. CONCLUSIONES

La integración de la Enseñanza Justo a Tiempo, la Instrucción entre Pares y el uso pedagógico de herramientas de IA se presenta como una estrategia efectiva para fortalecer el entendimiento profundo de sucesiones y series en estudiantes universitarios. Esta experiencia evidenció mejoras en el rendimiento académico, en la argumentación matemática y en la motivación para el aprendizaje, en línea con tendencias internacionales en educación STEM. Su replicabilidad, bajo condiciones similares, la convierte en una alternativa valiosa para la enseñanza de temas complejos.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que evidencian el impacto positivo de las metodologías activas en la comprensión matemática (Crouch y Mazur, 2001), y complementan las perspectivas emergentes sobre el uso pedagógico de la inteligencia artificial en entornos de educación superior (Zawacki Richter et al., 2019; Holmes et al., 2019).

Considerando que los datos obtenidos muestran un impacto moderado tras la implementación de esta metodología, se recomienda profundizar en su aplicación y evaluación en futuros estudios. En tal caso, las futuras investigaciones pueden indagar en muestras más amplias, así como en estudios cualitativos longitudinales que permitan observar la evolución de la autonomía y la motivación de los estudiantes al enfrentarse a temas abstractos de matemática universitaria. Además, la replicación de esta metodología en otros cursos (por ejemplo, Ecuaciones Diferenciales o Cálculo en una variable) sería de gran valor para comprobar la consistencia de los resultados.

DECLARACIONES

DECLARACIONES DE CONTRIBUCIONES DE LAS PERSONAS AUTORAS

RAC y MMC concibieron la idea presentada. RAC y MMC indagó en la teoría. RAC y MMC adaptaron la metodología al contexto del curso semipresencial, diseñaron las actividades, recopilaron los datos y supervisaron su implementación. RAC y MMC analizaron los datos y redactaron la versión inicial del manuscrito. MMC colaboró en la revisión crítica y estructuración del texto final. Ambas personas autoras participaron activamente en la discusión de los resultados, revisaron y aprobaron el trabajo completo.

DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos que respaldan los resultados de este estudio estarán disponibles por las personas autoras correspondientes, RAC y MMC (Reiman Acuña Chacón y Marcela Marrero Calvo), previa solicitud razonable.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico de Costa Rica y a la Escuela de Matemática por facilitar el contexto de aplicación, los espacios de docencia y la colaboración de los asistentes académicos que participaron en el desarrollo de la experiencia educativa aquí documentada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crouch, C. H. y Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977. <https://doi.org/10.1119/1.1374249>
- Holmes, W., Bialik, M. y Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Jordan, M. I. y Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
- Simkins, S. P. y Maier, M. H. (2010). *Just-in-Time Teaching: Across the Disciplines, and Across the Academy*. Stylus Publishing.
- Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall.
- Novak, G. M., Patterson, E. T., Gavrin, A. D., & Christian, W. (1999). *Just-in-Time Teaching: Blending active learning with web technology*. Prentice Hall.
- Zawacki Richter, O., Marín, V. I., Bond, M. y Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39), 1–27. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- UNESCO. (2021). *AI and education: Guidance for policymakers*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/PCSP7350>