



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS

“Francisco García Salinas”

Unidad Académica de Docencia Superior

Doctorado en Gestión Educativa y Políticas Públicas

Generación 2022 – 2025

Integración de Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en la enseñanza de los límites matemáticos: Evaluación de un ChatBot con estudiantes del bachillerato de Físico-Matemático de Nivel Medio Superior en el Plantel #4 de la UAP-UAZ (2024 – 2025).

Que para obtener el título de
Doctor en Gestión Educativa y Políticas Públicas

Presenta:

Josué de Ávila González

Directores de Tesis:

Dra. Leticia del Carmen Ríos Rodríguez

Dr. Jorge de la Torre y Ramos

Co-Directo de Tesis:

Dr. Francisco Eneldo López Monteagudo

Zacatecas. Zac. octubre de 2025

Zacatecas, Zac. 13 de octubre del 202.

Asunto: Liberación de Tesis

Dra. Samanta Deciré Bernal Ayala

Responsable del Departamento Escolar Central de la UAZ

Presente

Después de haber asesorado la investigación y revisado cuidadosamente la tesis cuyo título es: **“Integración de Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en la enseñanza de los límites matemáticos: Evaluación de un ChatBot con estudiantes del bachillerato de Físico-Matemático de Nivel Medio Superior en el Plantel #4 de la UAP-UAZ (2024 – 2025)”** que el estudiante Josué de Ávila González presenta para obtener el grado académico de *Doctor en Gestión Educativa y Políticas Públicas*, me permito comunicarle que dicha tesis cumple con los requisitos suficientes en contenido y forma que se exigen para los trabajos de esta naturaleza, por lo que se encuentra lista para su impresión y para que se realicen los trámites conducentes. De acuerdo a lo anterior, le informo que otorgo mi aval y voto para que sea definida en el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, hago propicia la ocasión para saludarla.



Dra. Leticia del Carmen Ríos Rodríguez
Docente Investigadora del DGEPP-UADS-UAZ
y Directora de Tesis

Ccp. Archivo

Resumen

La asignatura de matemáticas ha representado históricamente un reto considerable para los estudiantes, generando percepciones polarizadas y un bajo rendimiento académico a nivel mundial y nacional (OCDE, 2018, 2022; Planea, 2017). De acuerdo con datos nacionales para el ciclo 2021-2022, el nivel medio superior presentó una cobertura del 72.9%, con una reprobación del 12.1% y un abandono escolar del 9.2% (SEP, 2023a). En el bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas de la UAP-UAZ esta problemática también está presente, en 2023 se obtuvo una reprobación del 40.4% en los tres planteles de la capital, en la evaluación final de curso (examen ordinario). Y en el plantel específico donde se desarrolla esta investigación, la reprobación fue del 61.8% (UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024). Estas cifras muestran que un número significativo de estudiantes no alcanzan los conocimientos mínimos requeridos para avanzar al siguiente nivel educativo.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar el impacto de la intervención de un ChatBot basado en Inteligencia Artificial Generativa, en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos en estudiantes del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas de la UAP-UAZ, considerando los resultados de rendimiento académico (pretest-postest) y la percepción estudiantil sobre su uso. El estudio se sustentó en las teorías del aprendizaje constructivista y cognitivista, apoyadas en el conectivismo y el modelo de Conocimiento Técnico Pedagógico del Contenido (*Technological Pedagogical Content Knowledge*, TPACK) de Mishra y Koehler (Koehler et al., 2015). Se utilizó una metodología mixta: Cuantitativamente se aplicó el Modelo de Aceptación Tecnológica ampliado (*Technology Acceptance Model*, TAM) de Davis (1989), un pretest y un postest; y Cualitativamente se

analizó un cuestionario de preguntas abiertas para describir las opiniones de los estudiantes sobre la experiencia con el uso del ChatBot.

Los resultados mostraron una mejora significativa en el rendimiento académico: el 77.4% de los estudiantes incrementó su calificación y la media aritmética general aumentó en 1.41 puntos en el postest. El grupo de bajo rendimiento fue el que reportó el avance más significativo. Sobre la percepción, la mayoría de constructos del modelo ampliado de aceptación tecnológica (TAM), fueron valorados positivamente alcanzando una media de 4.1 sobre 5 en escala de Likert. Entre los aspectos más destacados mencionaron la personalización del aprendizaje, las explicaciones detalladas y la resolución de dudas como elementos clave para el aprendizaje.

De manera general, los hallazgos indican que la implementación de un ChatBot educativo con IAG, puede ser una estrategia viable para fortalecer la enseñanza y aprendizaje de conceptos matemáticos complejos y una alternativa prometedora para reducir el rezago académico en el Nivel Medio Superior.

“No hay enseñanza sin investigación,
ni investigación sin enseñanza.”

-Paulo Freire

Dedicatoria

A mi madre, por su apoyo incondicional
y su ejemplo de fortaleza.

A Camila y Bernardo, por ser mi mayor inspiración
y los mejores maestros que puedo tener.

Agradecimientos:

A Alba, por su gran apoyo en este proyecto y por caminar a mi lado. Por atender esos detalles que hacen la diferencia.

A mis asesores, por su guía, sus enseñanzas y la gran disposición que mostraron durante todo el proceso de esta investigación.

A las abuelas, por su apoyo incondicional, que hizo posible dedicar tiempo y esfuerzo a este proyecto.

A mi hermana, por su presencia y gran apoyo, aun en la distancia.

Al comité femenino del SPAUAZ 2023 – 2026, que con su lucha permitió que contara con mejores condiciones para desarrollar este trabajo.

A la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Al grupo 5°H de la Preparatoria IV (2023 – 2024), por su entusiasmo, compromiso y participación activa durante la implementación del proyecto.

Índice General

Resumen	3
Índice General.....	8
Índice de tablas	13
Índice de figuras	15
Introducción.....	17
Planteamiento del Problema	17
Contexto Internacional	17
Contexto Nacional.....	18
Contexto Local	20
Objetivos.....	22
Objetivo General	22
Objetivos Específicos	22
Preguntas de Investigación	23
Pregunta General de Investigación:.....	23
Preguntas Específicas:	23
Hipótesis	24
Justificación	24
Estado del Arte.....	27

Reprobación	30
Uso de Tecnología en la Enseñanza de las Matemáticas	34
Inteligencia Artificial Generativa (IAG)	51
Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM)	55
Metodologías, paradigmas y teorías de los artículos revisados.	57
Capítulo I: Antecedentes	60
1.1 Herramientas Tecnológicas en la Educación	61
1.2 Avances Tecnológicos en la Educación.....	62
1.3 Antologías en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ)	67
Capítulo II: Marco Contextual.....	71
2.1 Contexto Internacional.....	71
2.2 Contexto Nacional	73
2.3 Contexto Local.....	75
2.4 Calificaciones de Matemáticas de 5to y 6to de la UAP-UAZ	78
2.4.1 Cómo aportar al desarrollo esta investigación	82
Capítulo III: Marco Teórico	86
3.1 Paradigma Constructivista	89
3.2 Cognitivismo.....	93
3.3 Constructivismo	95
3.4 Teorías Secundarias o Nuevas Corrientes Educativas	98

3.4.1 Conectivismo.....	98
3.4.2 Tecnopedagogía	101
3.5 Modelo TPACK.....	104
3.6 Marco Conceptual.....	107
3.6.1 Límites Matemáticos	107
3.6.2 ChatBot.....	111
Capítulo IV: Metodología.....	113
4.1 Enfoque de Investigación.....	113
4.2 Diseño de Investigación.....	115
4.3 Fases de la Investigación-acción.....	116
4.3.1 Fase de Planeación	116
4.3.2 Fase de Acción	127
4.3.3 Fase de Observación.....	128
4.3.4 Fase de Reflexión	129
4.4 Contexto y Participantes	131
4.5 Instrumentos de Recolección de Datos	133
4.5.1 Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM)	133
4.6 Procedimiento de Análisis de Datos	136
4.7 Consideraciones Éticas	138
4.8 Limitaciones Metodológicas.....	139

Capítulo V: Resultados.....	142
5.1 Introducción	142
5.2 Observaciones de implementación y uso del ChatBot.....	144
5.2.1 Aspectos técnicos observados	145
5.2.2 Formas de uso por parte de los estudiantes	146
5.2.3 Limitaciones detectadas en la interacción	149
5.3 Resultados Cuantitativos.....	150
5.3.1 Pruebas de normalidad	151
5.3.2 Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas	152
5.3.3 Análisis por grupos de rendimiento	154
5.3.4 Análisis individual.....	159
5.3.5 Análisis de correlación	161
5.3.6 Descriptivos por ítem del TAM ampliado.....	163
5.3.7 Descriptivos por constructo del TAM ampliado	166
5.3.8 Diferencia entre grupos del modelo TAM ampliado	167
5.4 Resultados Cualitativos.....	169
5.4.1 Sistema de codificación cualitativa	171
5.4.2 Códigos por grupo de rendimiento académico.....	175
5.4.3 Nube de palabras	176
5.4.4 Teorías educativas	178

5.4.5 Percepción del ChatBot.....	183
5.5 Consideraciones finales del capítulo de resultados.....	186
Conclusiones.....	189
Limitaciones y futuras líneas de investigación	193
Anexos	195
Anexo 1	195
Cuestionario traducido sobre el modelo de aceptación tecnológica de Fred Davis publicado en 1989:	195
Anexo 2	196
Citas representativas de códigos relevantes del análisis cualitativo	196
Referencias	200

Índice de tablas

Tabla 1 Cobertura, tasa neta de escolarización, abandono, reprobación y eficiencia terminal por nivel educativo a nivel nacional en el ciclo escolar 2021 – 2022	19
Tabla 2 Cobertura, tasa neta de escolarización, abandono, reprobación y eficiencia terminal por nivel educativo en Zacatecas en el ciclo escolar 2021 – 2022.	20
Tabla 3 Artículos revisados para la construcción del estado del arte	29
Tabla 4 Distribución de estudiantes del Nivel Medio Superior por municipio y programa de la UAZ	76
Tabla 5 Número de alumnos por año y por plantel en el bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas.....	79
Tabla 6 Estudiantes reprobados en el examen ordinario por año y plantel	80
Tabla 7 Promedio de calificaciones por año, plantel y semestre	81
Tabla 8 Desglose de las variables y sus características en la investigación	126
Tabla 9 Ítems del modelo TAM ampliado con las fuentes de donde se obtuvieron.....	134
Tabla 10 Datos demográficos	150
Tabla 11 Pruebas de normalidad para el pretest, posttest e instrumento TAM ampliado ..	151
Tabla 12 Datos descriptivos del pretest y posttest.....	152
Tabla 13 Prueba de Wilcoxon en el pretest y posttest	154
Tabla 14 Prueba de Kruskal-Wallis y Post hoc para la comparación entre grupos de los constructos para el pretest y posttest.	155
Tabla 15 Estadísticos por grupo de rendimiento del pretest y posttest.....	157
Tabla 16 Correlaciones entre constructos del TAM ampliado	162
Tabla 17 Correlaciones de Spearman entre TAM ampliado, calificaciones y mejora	163

Tabla 18 Valoraciones por ítem del TAM ampliado	164
Tabla 19 Valoraciones por constructo del TAM ampliado	166
Tabla 20 Prueba de Kruskal-Wallis para la comparación entre grupos de los constructos del modelo TAM ampliado	168
Tabla 21 Sistema de codificación por categorías y códigos	172
Tabla 22 Comparativa de códigos por grupo de rendimiento académico	175
Tabla 23 Citas representativas de códigos relevantes sobre la teoría constructivista.....	180
Tabla 24 Citas representativas de códigos relevantes sobre las teorías cognitivista, conectivista y el modelo TPACK	181
Tabla 25 Citas representativas de códigos relevantes sobre la percepción del ChatBot ...	183

Índice de figuras

Figura 1 Máquina de Sidney Pressey que mostraba preguntas con respuestas de opción múltiple.....	65
Figura 2 Estructura del marco teórico	89
Figura 3 Elementos principales del constructivismo social según Vygotsky y Bruner	97
Figura 4 Teorías y sus principales elementos.....	102
Figura 5 Relación de los conocimientos en el modelo TPACK.....	105
Figura 6 Representación gráfica del límite matemático	110
Figura 7 Marco metodológico del estudio.....	115
Figura 8 Fases de la investigación-acción desarrolladas en el estudio.....	116
Figura 9 Interfaz principal del ChatBot con sus diferentes funciones.....	119
Figura 10 Ejemplo de la función como asesor del ChatBot	120
Figura 11 Funcionalidad de diagnóstico del ChatBot	121
Figura 12 Ejemplo de retroalimentación de la función de diagnóstico	122
Figura 13 Retroalimentación positiva del ChatBot en respuesta incorrecta.....	123
Figura 14 Implementación del ChatBot en el aula del bachillerato de Ciencias Físico Matemáticas.....	144
Figura 15 Escritura en código Latex durante el desarrollo del ChatBot	145
Figura 16 Interacción de estudiantes con el ChatBot durante la intervención	146
Figura 17 Aplicación del posttest tras la implementación del ChatBot	147
Figura 18 Petición de ejercicios por nivel de dificultad	148
Figura 19 Boxplots o diagrama de caja del pretest y posttest	153
Figura 20 Diagramas de cajas de los tres grupos de rendimiento en el pretest y posttest..	158

Figura 21 Comparación de calificaciones en pretest y postest por estudiante y grupo de rendimiento	160
Figura 22 Visualización de las valoraciones medias por constructo del TAM ampliado .	167
Figura 23 Visualización del sistema jerárquico de codificación cualitativa	172
Figura 24 Ejemplo de explicación detallada por parte del ChatBot al resolver un ejercicio	174
Figura 25 Palabras con mayor aparición en las respuestas de los estudiantes	177
Figura 26 Visualización del sistema jerárquico de la subcategoría teorías educativas	179
Figura 27 Organización jerárquica de códigos generados en la subcategoría de percepción del ChatBot.....	186

Introducción

Planteamiento del Problema

Contexto Internacional

¿Existe un problema en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas a nivel mundial? El Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos, PISA por sus siglas en inglés, realiza una evaluación cada 3 años dentro de los países que pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Dicha prueba evalúa la comprensión lectora, matemática y ciencias, en alumnos de 15 años de edad clasificando a los estudiantes en 6 niveles de conocimiento, con algunas subdivisiones en el área de lectura y ciencias. Esta prueba es la más importante a nivel internacional para evaluar los conocimientos en las áreas mencionadas.

De manera general, los resultados presentados en dicha prueba para el año 2022, muestran el mayor retroceso respecto a una prueba anterior. Este hecho se atribuye principalmente a los efectos causados en la educación por la pandemia por SARS-CoV-2. La media aritmética general fue de 472 puntos en matemáticas, 476 en lectura y 465 en ciencias, presentado una disminución de -15, -10 y -2 respectivamente, respecto a la prueba del año 2018. Estos puntajes se calculan con base a la media de la OCDE la cual es de 500 puntos, con una desviación estándar de 100 (OCDE, 2022).

Los países con un mejor desempeño en la prueba fueron Singapur, Japón, Corea y Estonia, superando los 500 puntos en promedio en las tres áreas. En América Latina, Chile fue el país con mejor puntaje entre los miembros de la OCDE. Sin embargo, aparece en el

lugar 47 y sus tres puntuaciones estuvieron por debajo de la media general. México y Uruguay son los países de esta región que aparecen debajo de Chile (OCDE, 2022).

En el reporte de la prueba PISA en el 2022, no se realiza un desglose específico en matemáticas sobre los niveles obtenidos en la evaluación como se hizo en 2018. Por este motivo, como referencia se muestran los resultados de la edición 2018. De los 78 países, en el apartado de matemáticas ninguno llegó a los niveles 5 y 6, en los cuales los alumnos tendrían la habilidad de trabajar con modelos complejos (nivel 5), pensamiento y razonamiento matemático avanzado (nivel 6). Solamente 34 (43.6%) países alcanzaron el nivel 3 y 4, en estos niveles los estudiantes utilizan estrategias simples en la solución de problemas (nivel 3) y relacionan las problemáticas con situaciones del mundo real (nivel 4). Fueron 44 (56.4%) los países que alcanzaron los niveles 1 y 2. En el nivel 1 los estudiantes realizan procedimientos rutinarios; y el nivel 2 los alumnos saben utilizar fórmulas, procedimientos y algoritmos elementales (OCDE, 2018).

Contexto Nacional

En la prueba PISA 2022, México se ubicó en la posición 51 de un total de 81 naciones miembros de la OCDE. Los estudiantes obtuvieron una media aritmética de 395 puntos en matemáticas, 415 en lectura y 410 en ciencia. Desde la prueba realizada en 2012, de manera general, México había obtenido puntajes menores en las evaluaciones posteriores. Sin embargo, en el año del 2022 es donde se registra la mayor caída prácticamente en las tres áreas del conocimiento. Respecto a la prueba anterior del 2018, en matemáticas se tuvo una disminución de 14 puntos, en lectura de 5 y en ciencias de 10. En la media aritmética de los países miembros de la OECD, México está 77 puntos por debajo en matemáticas, 61 en lectura y 75 en ciencias (OCDE, 2022).

Como referencia, en el examen PISA de 2018, México se ubicó en el lugar 61, obteniendo el nivel 2 en matemáticas con 409 puntos en promedio, 80 puntos abajo de la media (OCDE, 2018). En el caso particular de la UAP-UAZ, dentro del periodo 2015 – 2023 se ha tenido un índice de reprobación de alrededor del 60% en los exámenes parciales y en el examen final del curso (examen ordinario), en las materias de Matemáticas V y VI.

El bachillerato en México tiene ciertas particularidades respecto a los demás niveles educativos en el país. En la Tabla 1 se presentan algunas cifras relevantes del ciclo escolar 2021 – 2022, recabados del atlas de los servicios educativos (Secretaría de Educación Pública [SEP], 2023a).

Tabla 1

Cobertura, tasa neta de escolarización, abandono, reprobación y eficiencia terminal por nivel educativo a nivel nacional en el ciclo escolar 2021 – 2022

Nivel	Cobertura	Tasa neta de escolarización	Abandono escolar	Reprobación	Eficiencia terminal
Preescolar	63.7 %	-	-	-	-
Primaria	101.7%	96.3 %	0.4 %	0.5 %	97.0 %
Secundaria	94.7 %	83.9 %	2.5 %	2.2 %	92.9 %
Media superior	72.9 %	60.7 %	9.2 %	12.1 %	70.2 %
Superior	30.6 %	-	8.5 %	-	-

Nota. Datos obtenidos del atlas de servicios educativos 2021-2022 (SEP, 2023a).

Como se puede observar en la Tabla 1, el bachillerato tiene una diferencia considerable en cobertura respecto a la primaria y secundaria. Se repite el mismo patrón en la tasa de escolarización neta, ya que solamente 6 de cada 10 mexicanos cuentan con la preparatoria. Este nivel educativo es el que tiene el mayor índice de abandono escolar de todo el sistema educativo (9.2 %), incluso por encima del nivel superior. La reprobación es otro

indicador que llama la atención, 1 de cada 10 estudiantes del bachillerato, no logra acreditar satisfactoriamente sus asignaturas.

Contexto Local

En el estado de Zacatecas la escolaridad en promedio es de 9.4 años. Para el ciclo escolar 2021 - 2022 el Nivel Medio Superior contó con aproximadamente 61,670 estudiantes inscritos, representando el 13 % de la matrícula escolarizada en el estado (SEP, 2023a). En la Tabla 2 se muestran algunos datos relevantes de los diferentes niveles educativos en el estado.

Tabla 2

Cobertura, tasa neta de escolarización, abandono, reprobación y eficiencia terminal por nivel educativo en Zacatecas en el ciclo escolar 2021 – 2022.

Nivel	Cobertura	Tasa neta de escolarización	Abandono escolar	Reprobación	Eficiencia terminal
Preescolar	74.5 %	-			
Primaria	102.2 %	96.5 %	0.7 %	0.1 %	97.6 %
Secundaria	93.9 %	83.7 %	4.4 %	1.4 %	90.0 %
Media superior	66.6 %	56.2 %	10.2 %	13.7 %	69.3 %
Superior	28.8%	-	15.0 %	-	-

Nota. Datos obtenidos del atlas de servicios educativos 2021-2022 (SEP, 2023a).

En la Tabla 2 se puede observar que el Nivel Medio Superior en el estado de Zacatecas presenta retos importantes respecto a los otros subsistemas a nivel estatal y nacional. En cuatro indicadores está por debajo de la media nacional. La cobertura está 6.3% por debajo de la media, la tasa neta de escolarización está 4.5% abajo del promedio. El abandono escolar es 1% mayor en Zacatecas respecto al nivel nacional, la reprobación es 1.6% mayor que a nivel nacional y la eficiencia terminal 0.9% menor a los indicadores nacionales (SEP, 2023a). Estos indicadores muestran una situación complicada del Nivel Medio Superior en el estado.

En el caso particular de la UAP-UAZ, institución donde se desarrolla esta investigación, para el año 2023 en los planteles de la capital se obtuvo un índice de reprobación del 40.4%, en el bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas para el examen final de curso. En el plantel específico donde se implementará el ChatBot, se registró una reprobación del 61.8% en el mismo año (UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024), cifras que superan por mucho la media nacional y estatal.

Como ya se mencionó, el problema que se aborda en esta investigación es el de la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos a nivel bachillerato. En este proceso se involucran cuatro actores, el estudiante, el docente, el conocimiento y la metodología. En el caso de la materia de matemáticas las clases suelen impartirse de una manera tradicional, el maestro explica ejemplos y posteriormente los alumnos resuelven ejercicios similares a los explicados (Márquez y Morales, 2019). Esto ofrece múltiples áreas de mejora relacionado con la metodología utilizada en estos cursos.

Una metodología deficiente en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, obedece a múltiples factores (Calderón, 2022; Meza et al., 2021; Salcedo et al., 2020; Tachie y Chireshe, 2013):

- Falta de preparación pedagógica de los maestros.
- Los maestros enseñan en la forma cómo aprendieron.
- Los contenidos están muy alejados del contexto de los estudiantes y de la realidad.
- A los alumnos no se les genera una motivación por aprender.
- Estudiantes con deficiencias importantes de conocimientos básicos.

- No hay una aplicación en su contexto de los conocimientos que se busca que aprendan.
- Los horarios, espacios e insumos en muchas ocasiones no son los adecuados.
- Tanto el maestro como el alumno están inmersos en distintas problemáticas personales.

Por lo desarrollado hasta ahora, se concluye que existe una problemática en cómo se enseñan las matemáticas. Ya que un número considerable de estudiantes no alcanzan los conocimientos mínimos necesarios en su trayectoria escolar y los alumnos de la materia de cálculo del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas, no son la excepción a estas problemáticas. Mediante esta investigación se busca incidir en estos factores mediante el desarrollo e implementación de un ChatBot basado en inteligencia artificial para la enseñanza de los límites matemáticos.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar el impacto de la implementación de un ChatBot basado en Inteligencia Artificial Generativa, en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos en estudiantes del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas de la UAP-UAZ, considerando los resultados de rendimiento académico (pretest-posttest) y la percepción estudiantil sobre su uso.

Objetivos Específicos

1. Realizar un diagnóstico inicial sobre el dominio del tema de límites matemáticos, enfocado en la resolución de ejercicios, mediante la aplicación de un pretest.

2. Determinar la percepción de los estudiantes sobre el uso del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de límites matemáticos.
3. Identificar los efectos de la implementación del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, considerando la percepción de los estudiantes y los resultados de su rendimiento académico (pretest-posttest).
4. Analizar las diferencias en las percepciones y en el impacto en el rendimiento académico tras la implementación del ChatBot en tres grupos de estudiantes: bajo, medio y alto rendimiento.

Preguntas de Investigación

Pregunta General de Investigación:

- ¿Cuál es el impacto de la implementación de un ChatBot basado en Inteligencia Artificial Generativa en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos en estudiantes del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas de la UAP-UAZ, considerando el rendimiento académico (pretest-posttest) y la percepción estudiantil?

Preguntas Específicas:

1. ¿Qué nivel de dominio muestran los estudiantes en la resolución de ejercicios del tema de límites matemáticos en el diagnóstico inicial (pretest)?
2. ¿Cuál fue la percepción de los estudiantes sobre el uso del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de límites matemáticos?
3. ¿Qué efectos tuvo la implementación del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de límites matemáticos, considerando tanto la percepción de los estudiantes como los resultados de su rendimiento académico (pretest-posttest)?

4. ¿Cuáles son las diferencias en las percepciones y en el impacto del rendimiento académico, tras la implementación del ChatBot en los tres grupos de estudiantes de bajo, medio y alto rendimiento?

Hipótesis

La intervención de un ChatBot basado en IAG impactará de manera positiva y significativa en la enseñanza y aprendizaje de límites matemáticos, elevando las calificaciones en el posttest tanto de manera individual como grupal y obteniendo percepciones positivas sobre la herramienta, por parte de los estudiantes del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas de la preparatoria de la UAZ.

Justificación

Dada la estructura que tiene el conocimiento matemático abordado en el Nivel Medio Superior, se observa frecuentemente que los docentes optan por clases tradicionales (Márquez y Morales, 2019), en las que el maestro hace una exposición del tema, resuelve ejemplos y, posteriormente, el estudiante realiza ejercicios similares. Esto tiende a la mecanización y falta de comprensión de los conceptos centrales, Hernández (1998) lo denomina aprendizaje superficial. Trabajar de esta forma se relaciona con menor participación y motivación (Tachie y Chireshe, 2013). En el mejor de los casos, aquellos que tienen el gusto por la asignatura o facilidad, logran trabajar de esta manera.

Como se mostró en el planteamiento del problema, de acuerdo con la OCDE, México ha obtenido resultados bajos en matemáticas, con puntajes por debajo del promedio de los países participantes (OCDE, 2018, 2022). En el mismo sentido, para el ciclo 2021-2022, el Nivel Medio Superior a nivel nacional tuvo una reprobación del 12.1% y un abandono escolar del 9.2% (SEP, 2023a). En el caso de la UAP-UAZ, en el año de 2023 se registró una reprobación

del 40.4% en la asignatura de Matemáticas V en los tres planteles de la capital y zona conurbada de Zacatecas. En el plantel donde se desarrolla esta investigación, el índice llegó al 61.8%. (UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024). Estos datos muestran el tamaño del problema y la necesidad de buscar estrategias que reduzcan el rezago académico.

Para incidir en esta problemática, esta investigación apuesta por las Tecnologías de la Información, Comunicación, Conocimiento y Aprendizaje Digital (TICCAD), ya que estas ofrecen la posibilidad de generar alternativas para fomentar la participación, motivación y el aprendizaje activo (Prendes y Cerdán , 2021). Sin embargo, en la actualidad existen limitaciones para integrar de manera adecuada el uso de estas herramientas tecnológicas en los procesos educativos. Por este motivo, se propone la incorporación de un ChatBot basado en Inteligencia Artificial Generativa (IAG), con el objetivo de evaluar su impacto en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

El poder interactuar con estos asistentes mediante lenguaje natural, abren diversas posibilidades para su uso en el sector educativo, ya que ofrecen retroalimentar a los estudiantes de manera inmediata, explicaciones personalizadas y adaptación a los conocimientos de cada estudiante (Adamopoulou y Moussiades, 2020; Labadze et al., 2023). Este tipo de herramientas pueden cumplir la función de andamiaje para facilitar el tránsito en la zona de desarrollo próximo (Vygotsky, 1978), ya que actúan como apoyo temporal para que el estudiante pueda acceder a niveles superiores de comprensión.

Es necesario una inclusión adecuada de estas herramientas para evitar saturar a los estudiantes, que éstas tomen el rol central en el proceso de aprendizaje o que se conviertan en un distractor (Márquez y Morales, 2019). Por estos motivos se retoma la tecnopedagogía

y el modelo TPACK, para integrar de manera adecuada la pedagogía, el conocimiento disciplinar y la tecnología (Koehler et al., 2015), para que el asistente sirva de apoyo real en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, más allá del uso utilitario de la tecnología.

Si bien existen diversos estudios sobre ChatBot en la educación, cada vez hay más interés sobre esta temática dada la relevancia que ha tomado en tiempos recientes la IAG. Sin embargo, aún existen pocos trabajos que abordan esta temática en el nivel medio superior y, en específico, en el tema de límites matemáticos. Por este motivo, esta investigación busca aportar nuevos elementos que evidencie la viabilidad en este contexto específico. Es por esto que se han identificado tres áreas donde este trabajo puede aportar nuevos elementos:

1. Práctico. El ChatBot como herramienta de apoyo para maestros y estudiantes, ofreciendo un aprendizaje activo y personalizado.
2. Teórico. La vinculación de teorías pedagógicas (constructivismo y cognitivismo), con un enfoque tecnopedagógico (TPACK), a través de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en el aula.
3. Metodológico. La aplicación de un diseño cuasi-experimental utilizando un pretest y posttest, apoyados en el modelo ampliado de aceptación tecnológica (TAM ampliado) basado en Davis (1989), para el análisis cuantitativo y un cuestionario de preguntas abiertas para el cualitativo.

Con estos elementos, se considera que esta investigación cuenta con relevancia educativa y metodológica, ya que busca aportar nuevos elementos que mejoren la enseñanza de las matemáticas y contribuir a la reducción del rezago en el Nivel Medio Superior.

Estado del Arte

En este apartado se realiza una revisión bibliográfica de documentos científicos entre los años 2020 y 2024. Esto con la intención de conocer la situación actual de los enfoques, avances y líneas de desarrollo del problema de investigación que se aborda en este trabajo. Los buscadores académicos utilizados fueron Google académico, Scielo, Redalyc y Dialnet. Se utilizaron operadores booleanos (and, or, not, + y -) para una búsqueda más detallada de los conceptos.

Para la selección de investigaciones se tomaron en cuenta variables como la reprobación, el rendimiento académico, motivación, actitud hacia las matemáticas, percepción y abandono escolar. En relación con el uso de la tecnología en el aula, se incluyeron categorías como la implementación de ChatBots, uso de TICCAD y recursos digitales, gamificación y la aceptación de herramientas tecnológicas. Estos criterios permitieron identificar documentos que tuvieran relación directa con el problema de investigación.

Para el caso de la reprobación en matemáticas se realizaron búsquedas del tipo: reprobación and matemáticas, reprobación and nivel superior, reprobación not básica. En el caso del uso de la tecnología en el aula se hicieron búsquedas tales como: tecnología and matemáticas, tecnología and medio superior, tecnología or gamificación and matemáticas. De las diferentes búsquedas para el caso de reprobación matemáticas se encontraron 39 artículos, siendo descartados 18 por no cumplir con el año y abordar temáticas diferentes a la presente investigación. Para el caso del uso de la tecnología en el aula se encontraron 43 documentos científicos, dejando solamente 16 que cumplieran con los criterios ya establecidos.

Anteriormente se mencionó que existe un grave problema en la enseñanza de las matemáticas a nivel mundial (OCDE, 2018, 2022), una de las principales consecuencias de este hecho es que los estudiantes no alcanzan los conocimientos mínimos requeridos en el nivel que cursan, en consecuencia, se presentan altos índices de reprobación en esta asignatura (SEP, 2023a; UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024). En este apartado se analizan artículos científicos publicados recientemente sobre las dificultades que conlleva la enseñanza de las matemáticas, enfocándose principalmente en las causas que desembocan en la reprobación de los estudiantes.

El avance tecnológico no ha dejado de lado al ámbito educativo, se ha dado un proceso natural de inserción de estos recursos en el aula, aparentemente no con la rapidez deseada y de forma adecuada (Prendes y Cerdán , 2021). Siendo este punto tema central en esta investigación, se revisaron trabajos científicos que abordan el uso de las TICCAD e IA y su impacto en la enseñanza en la asignatura ya mencionada, buscando determinar si el uso de éstas puede ser una opción interesante como estrategia para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje. Con las revisiones de las temáticas mencionadas se prevé determinar los avances, estado actual y posibles contribuciones al conocimiento por parte de esta investigación.

Los ejes centrales en el estado del arte serán, las causas de reprobación en matemáticas y el uso de la tecnología en la enseñanza y aprendizaje de la misma materia, con un subapartado en IA. En el apartado de reprobación se revisan los objetivos de las investigaciones, planteamientos en común y las conclusiones tanto similares como originales. Dentro del apartado de tecnología se organizó la información recabada de los artículos comenzando por las coincidencias en los objetivos. Posteriormente se describen las

similitudes y particularidades de las metodologías utilizadas para la implementación de las herramientas tecnológicas. Y por último, las conclusiones transversales en los diferentes trabajos y hallazgos particulares. En este capítulo se aborda la revisión de un *metaanálisis*, que, dada su relevancia sobre la información presentada, se le dedica un apartado en específico. En la Tabla 3 aparecen los artículos revisados, año de publicación, así como su contexto y temática central, esto para una mejor referencia a dichos trabajos. La información se organizó con base al año de publicación.

Tabla 3

Artículos revisados para la construcción del estado del arte

Nombre del Artículo	Año	Contexto	Nivel	Tema
Competencias docentes y su relación con la reprobación de los alumnos en matemáticas	2022	Nacional Durango	Licenciatura	Rep.
La relación entre el uso de tecnologías de la información, en el aprendizaje del cálculo diferencial y el liderazgo. Un análisis realizado en Jerez, Zacatecas	2022	Local Jerez	Licenciatura	TICCAD
Factores asociados con la reprobación de estudiantes de ingeniería en las materias de matemáticas	2021	Nacional Aguascalientes	Licenciatura	Rep.
El uso de aplicaciones móviles en el aprendizaje de las matemáticas: Una revisión sistemática	2021	Internacional España	Primaria	TICCAD
Dispositivos móviles y su influencia en el aprendizaje de la matemática	2021	Internacional Ecuador	Metaanálisis	TICCAD
<i>AppMatetics</i> como apoyo para el aprendizaje de operaciones algebraicas en estudiantes universitarios	2021	Nacional Veracruz	Licenciatura	TICCAD
El <i>U-Learning</i> transformando las aulas para desarrollar habilidades matemáticas	2021	Nacional Puebla	Licenciatura	TICCAD
Tecnologías avanzadas para afrontar el reto de la innovación educativa	2021	Internacional	Metaanálisis	TICCAD
Desafíos de las TICs, TAC, TEP: Impacto de una propuesta educativa virtual en escuelas secundarias vulnerables	2021	Internacional Argentina	Secundaria	TICCAD
Fortalecimiento de las matemáticas usando la gamificación como estrategia de enseñanza –	2021	Internacional Colombia	Secundaria	TICCAD

aprendizaje a través de Tecnologías de la Información y a Comunicación en educación básica secundaria.

An interactive learning environment to empower engagement in Mathematics	2020	Internacional Italia	Secundaria	TICCAD
La reprobación en los estudiantes de la Licenciatura en Contaduría de la UAZYA-UAN en las materias de contenido matemático	2020	Nacional Tepic	Licenciatura	Rep.
Tecnologías emergentes aplicadas en la enseñanza de las matemáticas	2020	Internacional Colombia	Licenciatura	TICCAD
Diseño de una aplicación móvil educativa a través de app inventor para reforzar el proceso enseñanza-aprendizaje de operaciones con números enteros	2020	Internacional Ecuador	Secundaria	TICCAD
El aprendizaje móvil en Educación Superior: Una experiencia desde la formación de Ingenieros	2020	Internacional Colombia	Licenciatura	TICCAD
Uso de plataformas y herramientas digitales para la enseñanza de la matemática	2020	Internacional Uruguay	Secundaria	TICCAD
Factores que influyen en la deserción y reprobación de estudiantes de un curso universitario de matemáticas	2020	Internacional Costa Rica	Licenciatura	Rep.
La gamificación como herramienta tecnológica para el aprendizaje en la Educación Superior	2020	Nacional Campeche	Licenciatura	TICCAD
Realidad aumentada como herramienta de apoyo al aprendizaje de las funciones algebraicas y trascendentes	2020	Internacional Colombia	Licenciatura	TICCAD
Uso de tecnología en el aprendizaje de matemáticas universitarias	2019	Nacional Sinaloa	Licenciatura	TICCAD
High failure rate in mathematics examinations in rural senior secondary schools in Mthatha district, Eastern Cape: Learners' Attributions	2013	Internacional Sudáfrica	Secundaria	Rep.

Nota: Rep. Hacer referencia a la temática de Reprobación

Reprobación

La reprobación es de las principales consecuencias de un proceso deficiente en la enseñanza de las matemáticas, esta problemática es multifactorial como lo determinan diversos investigadores que a continuación se abordan. Sobre los objetivos de los trabajos, Castillo et al. (2020) fijaron identificar los factores que influyen en la deserción y reprobación

en la materia de matemáticas en estudiantes de licenciatura de la Universidad Nacional de Costa Rica. Tachie y Chireshe (2013) se enfocaron en determinar las causas de los altos índices de reprobación en estudiantes del nivel *Black Grade 12*, cuya edad es de 17 a 18 años pertenecientes a una escuela rural de Sudáfrica.

Por su parte, Calderón (2022) busca determinar la relación que existe entre las competencias docentes con la reprobación en estudiantes de nivel licenciatura en la materia de matemáticas. Asimismo, Meza et al. (2021) se plantearon un objetivo similar, identificar los factores que influyen en la reprobación en matemáticas por estudiantes de Ingeniería. El objetivo de la investigación de Salcedo et al. (2020) fue identificar las materias y factores que se relacionan con el desarrollo del aprendizaje en matemáticas.

Dentro de los hallazgos de estas investigaciones se encuentra que la actitud tomada por los estudiantes hacia esta materia es fundamental en sus resultados académicos. Es decir, si éstos no tienen un interés por el estudio y/o afrontan esta asignatura considerándola muy complicada, se elevarán sus probabilidades de reprobar (Calderón , 2022; Castillo et al., 2020; Salcedo et al., 2020; Tachie y Chireshe, 2013). En la investigación de Tachie y Chireshe (2013) determinaron que una preparación deficiente de los maestros y la falta de capacitación de éstos, tanto en los contenidos como en las técnicas de enseñanza, son un factor importante en esta problemática.

En el mismo sentido aporta Calderón (2022), encontrando que existe un mejor desempeño de los alumnos si el maestro cuenta con mayores competencias educativas. En el mismo estudio se menciona que la percepción de los estudiantes indica que su desempeño será igual, independientemente del maestro que imparta la clase. Si bien ambas conclusiones parecen contradictorias, esto se explica porque la primera afirmación es a la que llega el

estudio, ya que encuentra que hay una relación entre la preparación del maestro y los resultados académicos que obtienen sus estudiantes. La segunda es una percepción o creencia por parte de los alumnos. En la misma investigación se observa que los estudiantes asumen que las matemáticas son complicadas y la reprobación tiene que ver en mayor medida con su propia competencia.

No obstante, esto contrapone lo determinado por Castillo et al. (2020) y por Tachie y Chireshe (2013), los cuales encontraron que los alumnos suelen atribuir sus bajos resultados académicos a factores externos, tales como la institución, maestros, contenidos, materiales de apoyo, entre otros; no son conscientes del grado de responsabilidad que está en ellos para obtener mejores resultados. Analizando estos artículos, la postura de esta investigación concuerda con lo determinado por los segundos autores, ya que su investigación está mejor fundamentada y la postura de los estudiantes descrita es la que se observa con mayor frecuencia en el salón de clase. Esto es relevante para este trabajo, ya que de manera indirecta se busca concientizar a los alumnos del grado de responsabilidad que tienen en la obtención de sus resultados académicos.

Para generar una concientización del nivel de responsabilidad que tienen los estudiantes en sus resultados académicos, Tachie y Chireshe (2013) proponen informar constantemente al alumnado que obtendrán mejores resultados si dedican un mayor esfuerzo a las actividades académicas en esta área. Recomiendan capacitar a los maestros y proporcionar materiales adecuados de apoyo al proceso de enseñanza de las matemáticas. Por su parte Castillo et al. (2020) y Meza et al. (2021) encontraron que los estudiantes que dedican un menor tiempo al estudio de esta asignatura es factor que influye en la reprobación. Otros factores encontrados por Castillo et al. (2020) son: la falta de hábitos de estudio, deficiencia

en conocimientos previos y el priorizar otros cursos, como factores que influyen en la reprobación. En distintos trabajos se señala la importancia de la motivación para obtener un mejor desempeño académico en matemáticas (Castillo et al., 2020; Salcedo et al., 2020; Tachie y Chireshe, 2013). Para lograrlo se recomienda exponer los beneficios del estudio y aprendizaje de las matemáticas y buscar que los conocimientos a enseñar sean relevantes e interesantes para el alumno (Tachie y Chireshe, 2013).

La investigación de Salcedo et al. (2020) plantea que abordar la reprobación como un problema individual es un error, ya que no obedece solamente a causas personales. Este trabajo habla del trastorno por déficit de atención y discapacidad intelectual dentro de las dificultades de aprendizaje. De como su diagnóstico correcto y canalización temprana pueden ayudar a transitar de mejor manera a los alumnos con estas condiciones. Mencionan que no es un número menor de estudiantes que llegan a nivel medio o licenciatura sin ser diagnosticados. Señalan que el factor principal que genera la reprobación es la dificultad de aprender, y determinar la causa es fundamental para canalizar y recibir una atención especializada.

Dentro de las variables académicas encontradas por Meza et al. (2021) que se pueden asociar con la reprobación en la asignatura de matemáticas de estudiantes de ingeniería están: el rendimiento (promedio actual acumulado), el semestre y la generación, el perfil de maestro quedó muy cerca de ser significativa estadísticamente. Dentro de los factores académicos, el género mostró asociación con la reprobación y quedaron muy cerca de serlo: el grado de escolaridad el padre y trabajar al mismo tiempo que estudiar. En los factores institucionales ninguno tuvo relación significativa. Dado el enfoque de la presente investigación, en el estudio de Calderón (2022) se menciona que uno de los puntos que influyen en la reprobación

es la utilización de nuevas tecnologías, por este motivo plantea como prospectiva: determinar la influencia del uso de estas herramientas en los índices de reprobación. Hecho que tiene relación directa con este trabajo.

Uso de Tecnología en la Enseñanza de las Matemáticas

Se encontraron diversos trabajos en el contexto internacional sobre el uso de herramientas tecnológicas en el proceso de enseñanza de las matemáticas en países como: Italia, Colombia, Ecuador, Chile, Argentina y Uruguay. Un número menor en el contexto nacional en estados como Puebla, Sinaloa y Veracruz. En el ámbito local, la investigación de estas temáticas es escasa, por tal motivo solamente se ha detectado un trabajo ubicado en el municipio de Jerez, Zacatecas.

Objetivos. Sobre los objetivos que plantean los distintos artículos científicos en la temática del uso de la tecnología en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, se pueden clasificar en dos grupos. Por un lado, cuyo objetivo fue mejorar, reforzar el rendimiento académico o el proceso de enseñanza. Por el otro, aquellos que tuvieron por objetivo general, analizar el efecto que tiene el uso de estas herramientas en el proceso educativo.

Dentro de los que pertenecen al primer grupo encontramos a Carvajal et al. (2019), los cuales se plantearon determinar si el uso de nuevas tecnologías mejora el aprendizaje. En un sentido similar está Márquez (2020), que buscó establecer si un modelo de aprendizaje móvil híbrido invertido mejora el rendimiento académico de los alumnos. Barana y Marchisio (2020) buscaron determinar si la resolución de problemas utilizando herramientas interactivas, y la evaluación automática utilizando el *blended learning*, podía mejorar el

compromiso de los estudiantes de educación secundaria en matemáticas de octavo grado (14 años).

En el segundo grupo aparece Márquez y Morales (2019), cuyo objetivo primordial fue la implementación de una aplicación móvil de realidad aumentada, como apoyo en el aprendizaje de funciones algebraicas y trascendentes. Campuzano et al. (2021) se fijaron como objetivo determinar la influencia del uso de dispositivos móviles en el proceso de aprendizaje en matemáticas. Un objetivo similar tuvieron Salazar et al. (2021), los cuales analizaron el efecto de una aplicación móvil en el aprendizaje de operaciones algebraicas en estudiantes de licenciatura. Por su parte Vaillant et al. (2020) se fijaron como objetivo describir y analizar el uso de herramientas y plataformas digitales, en la enseñanza de las matemáticas en estudiantes de secundaria de Uruguay. En el caso de Hernández (2021) busca determinar el efecto que tiene la implementación del aprendizaje basado en retos (ABR), utilizando un entorno virtual en adolescentes de zonas vulnerables en Argentina.

Al analizar investigaciones que abordan el uso de tecnologías en la educación se detecta que, de manera directa o indirecta, estas buscan cambiar la manera tradicional en que se imparten las clases de matemáticas. En este sentido, se analizan trabajos que abordan el uso de la tecnología enfocada a desarrollar un proceso de juego mientras el estudiante aprende. A la implementación de juegos en el aula se le conoce como juegos serios (Prendes y Cerdán, 2021), en los cuales la tecnología ofrece una posibilidad interesante en la implementación de estas estrategias en el salón de clase. Dentro de los trabajos revisados en esta línea está el de Heredia et al. (2020) que se plantean el objetivo de utilizar la tecnología y el juego, como estrategia para despertar el interés de los estudiantes por el aprendizaje. En el mismo sentido está la investigación de Elles y Gutiérrez (2021), cuyo objetivo es fortalecer

el aprendizaje matemático utilizando la gamificación, mediante el uso de tecnología en la búsqueda de motivar, dinamizar y adaptar de una mejor manera el aprendizaje a los estudiantes.

Enfoques o modelos utilizados en la implementación de la Tecnología. Los distintos enfoques con los que se puede implementar el uso de tecnología en la enseñanza de las matemáticas, es otra temática relevante encontrada en la revisión de investigaciones. Se tiene el caso de Cantero et al. (2021), los cuales utilizaron el aprendizaje ubicuo en su trabajo. Este concepto es desarrollado por Weiser, que lo define como el uso de la tecnología en cualquier momento y cualquier lugar. Realiza la clasificación en tres posibles escenarios para su aplicación: mediante dispositivos muy pequeños tales como relojes, pulseras o dispositivos de tamaño similar; dispositivos pequeños como los son teléfonos o tabletas y por último los más grandes que incluso pudieran llegar a medir más de un metro (como se citó en Cantero et al. 2021)). En el contexto educativo, el aprendizaje ubicuo o *u-learning* hace referencia a aprender en el tiempo que el estudiante decida y lugar en el que se encuentre, mediante el uso de un teléfono celular, es decir, se promueve el aprendizaje al interior y exterior del salón de clases.

Por su parte Quishpe y Vinueza (2021) adoptan el aprendizaje móvil, *Mobile Learning* o *m-learning* en su investigación. Hacen mención a este concepto como una metodología de enseñanza independientemente del lugar y el momento en el que se esté, mediante el uso de un aparato móvil facilitando la accesibilidad del conocimiento a adquirir. Dentro de las ventajas que se identifican del uso de esta metodología, aparte de los ya mencionados están: la posibilidad de llegar a un número mayor de estudiantes en distintos contextos propiciando la igualdad de oportunidades, alentar un aprendizaje continuo y el uso

de tecnología con la que la mayoría de estudiantes cuenta. El mismo concepto utilizan Ballesteros et al. (2020), indicando que se convierte en una oportunidad de aprendizaje en distintos contextos a través de dispositivos móviles, donde los alumnos tienen acceso a los contenidos de manera individual o colectiva, dentro o fuera del salón de clases, lo que propicia la motivación, comunicación y el gusto por el aprendizaje. Plantean la idea de que el maestro incorpore el uso de la tecnología en el proceso de enseñanza, ya que es una actividad cotidiana en la sociedad actual y dejarla de lado, conllevaría negar el rol primordial que desempeña actualmente.

La investigación realizada por Márquez (2020) aborda distintas metodologías sobre el uso de la tecnología en la educación, entre ellas el aprendizaje móvil. Este trabajo complementa lo mencionado en las dos investigaciones anteriores con el hecho de que, esta metodología permite la utilización de opciones digitales tales como la realidad aumentada, virtual o una combinación de ambas. Menciona que esta forma de trabajo propicia un proceso educativo más dinámico y adaptable, fomentando el autoaprendizaje y el aprendizaje colaborativo. Dada la gran cantidad de recursos que pueden ser utilizados, tales como redes sociales, blogs, videos, entre otros, al maestro se le abre un abanico de posibilidades, permitiéndole plantear múltiples estrategias de aprendizaje y realizar evaluaciones tanto individuales como grupales.

En el mismo trabajo se utiliza la metodología de clase invertida o *Flipped Classroom*, la cual consiste en proporcionarle a los estudiantes materiales educativos que son revisado previamente a la clase o actividad. Estos materiales pueden ser textos electrónicos o impresos, videos, audios y presentaciones entre otros recursos. Un punto a resaltar de esta forma de trabajo es que no sólo el maestro es el que cuenta con el conocimiento, esto permite

dinamizar la clase, ya que los estudiantes pueden aportar a la discusión y/o apoyar a sus compañeros, comprometiéndolos con su educación. Otra ventaja es el hecho de que habrá una actividad posterior a lo estudiado, lo que refuerza y aclara conceptos revisados con anterioridad. Un punto en común con el aprendizaje móvil, es la disponibilidad del material educativo fuera del aula, lo que propicia aprender en el lugar y momento definido por los alumnos, al ritmo que ellos establezcan.

Otra metodología abordada por Márquez (2020) es la de aprendizaje híbrido o *Blended Learning*, el cual consiste en una combinación de educación presencial y a distancia. Para desarrollar esta forma de trabajo es necesaria una plataforma que es administrada por el docente, la cual puede contener distintos recursos digitales con el propósito de que los alumnos desarrollen actividades para su aprendizaje. Estos recursos se vuelven más asequibles y pueden ser aprovechados de mejor manera, ya que algunos de ellos no son de fácil acceso desde un salón de clases. En la plataforma se pueden realizar sesiones a distancia para impartir clase o resolver dudas, lo cual agrega flexibilidad para realizar el trabajo. Al igual que las metodologías mencionadas con anterioridad, el estudiante puede tener acceso a los materiales desde distintos dispositivos electrónicos, tales como teléfonos celulares, tabletas o computadoras. Se agrega un nuevo canal de comunicación entre maestro y alumnos, que si es bien aprovechado puede mejorar los resultados del proceso de aprendizaje.

Por último, esta investigación utiliza la propuesta pedagógica y metodológica del aprendizaje móvil híbrido invertido, la cual surge para intentar resolver el bajo rendimiento académico, reprobación y deserción en la materia de matemáticas a nivel licenciatura. Como su nombre lo indica, combina el aprendizaje invertido, el uso de dispositivos móviles y el aprendizaje tanto de manera presencial como a distancia. Apuesta por plantear nuevas

estrategias de enseñanza tomando como elementos centrales el uso del internet y el de dispositivos móviles. Esto propicia la adquisición de habilidades digitales por ambos actores, para poder llevar a cabo las actividades relacionadas con el proceso de enseñanza y aprendizaje, independientemente del tiempo y lugar que se destinen para este fin. Las posibilidades que brinda esta propuesta son enormes, puede responder y adaptarse a distintas formas de aprendizaje por parte de los estudiantes.

En la investigación de Carvajal et al. (2019) se maneja el concepto de *Electronic Learning* o *E-Learning*, el cual hace referencia a un aprendizaje mediante dispositivos conectados a internet. Se menciona que este recurso es utilizado para mejorar y facilitar el proceso de aprendizaje utilizando la tecnología, se señala que esta herramienta está poco presente en este proceso de enseñanza en asignaturas como matemáticas. En el caso de escuelas públicas se tiene la desventaja de contar con pocas computadoras y que, raramente se utilizan en situaciones didácticas en materias distintas a la de informática o computación.

Como se puede observar en este apartado, algunas metodologías son muy generales y pueden abarcar a las demás, tal es el caso del *e-learning* o *electronic learning*, dada su generalidad parece haber sido desplazada por otras metodologías, ya que solamente una investigación la considera. Una de las principales coincidencias entre distintas metodologías es el aprendizaje en el espacio y tiempo que el estudiante lo defina, deja de lado que el aprendizaje se dé en el salón de clase exclusivamente. Esto es planteado por el aprendizaje ubicuo o *u-learning*, el aprendizaje híbrido, *blended learning* o *b-learning* y el aprendizaje móvil o *m-learning*. Otra constante en distintas metodologías es el uso de dispositivos móviles enfocándose principalmente en el teléfono celular como herramienta de aprendizaje. En este sentido Márquez (2020) considera relevante tomar en cuenta el tamaño de las

pantallas para definir las actividades a realizar por parte del estudiante. Relacionado con este tema, en la investigación de Vaillant et al. (2020) analizaron cuales son los dispositivos más utilizados en el proceso de enseñanza por parte de los maestros, en tercer lugar, aparece la tableta electrónica, en segundo está la computadora y el teléfono móvil es la herramienta más utilizada. Esto lo refuerza la investigación de Quishpe y Vinueza (2021), los cuales indican que un número considerable de estudiantes cuentan con este aparato electrónico.

Consideraciones de la Revisión. Como se señala en el apartado anterior donde se analizan los trabajos relacionados con las causas de la reprobación en matemáticas, la motivación es un elemento fundamental para obtener buenos resultados en esta materia. Se encontró en diversos estudios que el uso de herramientas tecnológicas en la enseñanza de las matemáticas propicia una motivación considerable en los estudiantes. En una investigación realizada por Quishpe y Vinueza (2021) se diseñó y desarrolló una aplicación para reforzar el proceso de enseñanza aprendizaje en operaciones con números enteros, encontraron que el uso de la aplicación motivó a sus estudiantes en el uso de la herramienta y en desarrollar las actividades propuestas en ella, reforzando los conocimientos para la que fue diseñada.

En el trabajo Elles y Gutiérrez (2021) determinaron que la implementación de la gamificación en el aula incrementa la motivación por parte de los estudiantes, partiendo de un valor de 3.8 y llegando a 4.5 posterior a la intervención. De la misma manera mejora la participación de los alumnos en las actividades propuestas por el docente. Estos investigadores determinan que incluir actividades lúdicas en el proceso de enseñanza y aprendizaje, vuelve a la clase más dinámica ya que los alumnos participan de manera activa.

En este mismo sentido aportan Carvajal et al. (2019), determinando que la mayoría de los alumnos consideran que el uso de las TICCAD propicia una clase más dinámica y

están a favor de su uso. Sobre los problemas que puede generar su utilización, los estudiantes toman una postura neutral, es decir, no ven potenciales inconvenientes en que sean implementadas en el proceso de aprendizaje. Por su parte Cantero et al. (2021) mencionan que el uso de distintas herramientas tecnológicas generó un mayor interés en los estudiantes por las clases. En su caso utilizaron aplicaciones para *smartphones*, software de computadora y pizarra digital. Estos investigadores encontraron que la realidad aumentada y la pizarra digital fueron las que obtuvieron un mejor resultado en el proceso de aprendizaje.

Un número considerable de investigaciones llegan a la conclusión de que, el uso de tecnología en el proceso de enseñanza aprendizaje de las matemáticas tiene una repercusión positiva en la comprensión y/o el desempeño académico. Cantero et al. (2021) determinaron que el aprendizaje ubicuo garantiza la comprensión y el desarrollo de habilidades matemáticas, mediante el uso de tecnología y programas de computadora. En el caso de Márquez (2020) menciona que el uso del aprendizaje móvil invertido, resultó estadísticamente significativo en estudiantes aprobados, frente a la enseñanza tradicional. Por su parte Ballesteros et al. (2020) encontraron un mejor desempeño en los estudiantes de los grupos de intervención respecto a los grupos de control. Una de las conclusiones a las que llegan Campuzano et al. (2021) es que, el uso de los dispositivos móviles es positivo y mejoran el rendimiento académico de los estudiantes.

Elles y Gutiérrez (2021) determinan una mejora relevante en el rendimiento académico después de la implementación de juegos en el aula. En el caso de la investigación de Salazar et al. (2021), determinaron que los alumnos que utilizaron la aplicación para el teléfono celular, tuvieron un mejor rendimiento académico respecto a los que no la usaron. En el mismo sentido se expresan las revisiones de literatura científica de Rodríguez et al.

(2021) y Prendes y Cerdán (2021), las cuales concluyen que existe un enorme potencial de las aplicaciones y el uso de tecnología, en el ámbito educativo para mejorar el rendimiento matemático en los alumnos. Estos estudios se analizan con una mayor profundidad posteriormente dada la relevancia de sus aportaciones, ya que es una revisión sistemática de un número amplio de artículos científicos.

Dentro de los artículos científicos revisados sobre esta temática se encontraron dos que llegan a conclusiones diferentes a las recién mencionadas. Por una parte, Márquez y Morales (2019) son más mesurados en sus conclusiones, ya que establecen que el uso de la tecnología en la educación no es la solución a todas las problemáticas de enseñanza de las matemáticas. Estos autores plantean evaluar el alcance real de éstas y la potencialidad a la que pueden llegar. En el caso de Reveles et al. (2022) cuyo estudio se realizó en alumnos de licenciatura en el municipio de Jerez, Zacatecas (único trabajo encontrado dentro del contexto local), señalan que los mejores resultados académicos los tuvieron los estudiantes que llevaron el curso de forma tradicional, pues se menciona que es complicado determinar la estrategia indicada para mejorar el desempeño académico en la asignatura de matemáticas.

Por otro lado, tanto en los estudios de Campuzano et al. (2021) como en el de Márquez (2020), se menciona que el uso de la tecnología, en sus diferentes opciones, es una alternativa a las clases tradicionales. En el caso de Campuzano et al. (2021) señalan que el estudiante se vuelve protagonista de su aprendizaje, desarrollando habilidades, destrezas y siendo autónomo en este proceso. Márquez (2020) plantea que el uso de la tecnología no puede estar al margen de la práctica del maestro de matemáticas y que es necesario cambiar el estereotipo de un docente intransigente y autoritario. Márquez y Morales (2019), en similitud con los autores anteriores, señalan que su investigación busca cambiar el paradigma de un proceso

educativo tradicional en esta asignatura, hacia un modelo dinámico, colaborativo y con mayor participación de los alumnos. Establecen la urgencia de transformar la clase tradicional utilizando los medios tecnológicos disponibles.

Sobre el nivel de uso de herramientas digitales en el salón de clase, Elles y Gutiérrez encontraron que solamente el 17% de los maestros las utilizan. En el caso de la investigación de Vaillant et al. (2020) se realizó una encuesta digital a maestros de nivel secundaria de Uruguay, para determinar la frecuencia de uso de herramientas y plataformas digitales y los resultados obtenidos indican que su utilización es de moderado a bajo. Otra conclusión relevante de este estudio es el hecho de que, la edad y el género del maestro no es una variable determinante para el uso de herramientas tecnológicas en el aula, pero sí lo es el tener estudios pedagógicos, ya que esta formación en el docente demostró tener una implementación más efectiva de la tecnología en el salón de clase. Dentro de las aplicaciones disponibles para su uso didáctico en la materia de matemáticas, este trabajo determinó que *Geogebra* es la más utilizada por los docentes. Otras aplicaciones analizadas fueron *Derive*, *Dr. Geo*, *Cabri* y *Mathgraph*. Dentro de las plataformas más utilizadas para la enseñanza digital en primer lugar está la Plataforma Adaptativa de Matemáticas (PAM), seguida de *Moodle*, en tercer lugar, aparece *Edmodo* y en último *Thatquiz*. También se analizó el uso de lenguajes de programación utilizados en la enseñanza de las matemáticas estando en primer lugar *Scratch*, seguida de Tortuga y al final R.

Metaanálisis. Mención aparte merece la revisión sistemática realizada por Rodríguez et al. (2021), cuyo objetivo fue determinar los beneficios que aportan a edades tempranas el uso de aplicaciones móviles para aprendizaje de las matemáticas. Se seleccionaron 25 estudios de un total de 1,329 publicados desde enero de 2015, los cuales se obtuvieron de las bases de

datos como *Eric*, *Scopus*, *Web of Science* y *Google Scholar*. La clasificación de los estudios se realizó en tres categorías: el rendimiento en matemáticas a nivel cognitivo, el aprendizaje del dominio psicomotor y afectivo social, y la última categoría hace referencia a la relación entre el diseño de la aplicación con el rendimiento en esta materia.

Por fecha de publicación los artículos quedaron distribuidos de la siguiente manera, 6 en 2015, 6 en 2016, 6 en 2017, 5 en 2018 y 2 en 2019. Los niveles educativos en los que se desarrollan las investigaciones son: seis para educación infantil, diecisiete para primaria y dos en ambos niveles. Prácticamente la mitad de las investigaciones (12) utilizan un grupo de control y uno experimental. Dentro de los resultados encontrados en las investigaciones, la efectividad del uso del juego digital estuvo presente en 22 trabajos, los otros tres trabajos abordaron la mejora de la comunicación del maestro mediante la aplicación, la resolución de problemas y el desarrollo de habilidades visoespaciales. Esto pone a la gamificación como estrategia interesante a experimentar en la enseñanza de las matemáticas en distintos niveles educativos.

Esta revisión determinó que el uso de aplicaciones logra motivar y captar la atención de los estudiantes. Dentro de los principales desafíos de esta forma de trabajo está superar la desconexión o falta de equipo adecuado por algunos estudiantes. Si la aplicación implementada tiene un buen diseño, pocos o nulos errores, ésta consigue un mejor rendimiento académico de los alumnos. Se encontró que el uso de aplicaciones no sólo mejora el rendimiento matemático, sino que se observan mejoras en el aprendizaje a nivel cognitivo, afectivo-social y psicomotor. En el análisis de resultados se determina un incremento considerable en el razonamiento matemáticos y la resolución de problemas. Lo interesante de este hallazgo es que, esto se dio principalmente en alumnos con mayor rezago

académico. Además de lo anterior, se destaca que los dispositivos digitales ofrecen la posibilidad de trabajar individual o colectivamente, lo cual es otro punto a favor de su uso.

En la revisión de artículos se hace referencia al trabajo realizado por Schacter y Jo (2017), los cuales utilizaron una aplicación con contenido matemático del plan de estudios. Los resultados fueron sobresalientes ya que, los estudiantes del grupo experimental aprendieron los conocimientos matemáticos de un año más aproximadamente que el grupo de control. Otro aspecto relevante abordado en este análisis es que, la aplicación se puede adaptar fácilmente al nivel del usuario, si éste es muy fácil se aburrirá rápidamente y si es muy difícil abandonará la actividad.

Se cree que los estudiantes están acostumbrados a interactuar con medios tecnológicos, lo cual les facilitaría su uso en la enseñanza. Sin embargo, no están habituados a utilizar aplicaciones educativas, lo que dificultó en algunos estudios el desarrollo de las actividades de aprendizaje en el aula. El mismo estudio señala que el 66% de los niños nunca habían utilizado juegos o aplicaciones educativas en dispositivos electrónicos. Dentro de las conclusiones con mayor relevancia de una de las investigaciones esta que, la calidad de enseñanza y habilidades del maestro son más influyentes que la calidad de la aplicación. De la revisión sistemática de los 25 artículos, los investigadores mencionan que las aplicaciones en el entorno educativo muestran un enorme potencial para la mejora del rendimiento académico de los estudiantes, esto lo definen como la conclusión más relevante de su análisis.

Dentro de las prospectivas señaladas en esta revisión se encuentra que no hay estudios longitudinales que determinen los beneficios del uso de estas herramientas en el aula a largo plazo. Una de las barreras más importantes para implementar las aplicaciones en el proceso de enseñanza es el desarrollo de éstas. No obstante, pocos maestros de matemáticas y en

general de otras asignaturas tienen el conocimiento, interés y tiempo para desarrollar por ellos mismos este tipo de aplicaciones. En este sentido, Quishpe y Vinuesa (2021) hacen una propuesta interesante mediante el desarrollo de la aplicación con *AppInventor*, el cual es un entorno de desarrollo sencillo para aquellos con conocimientos básicos de programación. Esta opción, si bien es una alternativa, se tendría que valorar la calidad del resultado, ya que en la revisión de estudios que se está analizando, se menciona que el producto final influye en los resultados obtenidos por los estudiantes al interactuar con la herramienta, ya que de no ser así se pudiera convertir en un distractor para el estudiante. Se establece que los niños se sintieron más atraídos con aplicaciones de entretenimiento y desarrolladas con creatividad, es decir, resulta relevante la experiencia del usuario.

El *metaanálisis* plantea que, si se toma la decisión de construir la aplicación, es necesaria una relación muy estrecha entre maestros y desarrolladores para conseguir aprendizajes con una mayor comprensión, que aborden el contexto de los alumnos y que se pueda adaptar para ser utilizada tanto de manera individual como colectiva. Continuando con las prospectivas, se menciona que es necesario tener presentes los avances tecnológicos actuales y futuros, que puedan ser utilizados en la educación. En este sentido, se habla del caso específico de la realidad aumentada y se sugiere incrementar su implementación en el salón de clases dados los buenos resultados obtenidos. Esto coincide con lo mencionado por Márquez y Morales (2019) en donde determinaron que la realidad aumentada contribuye en la didáctica y la pedagogía de la enseñanza de las matemáticas, ya que sirve para el autoaprendizaje y el aprendizaje colaborativo.

Continuando con la revisión de investigaciones sobre la implementación de la tecnología en el salón de clase, se analizó el trabajo publicado por Prendes y Cerdán (2021)

en el que contrastan diferentes investigaciones sobre esta temática. Realizan una clasificación de los trabajos en cuatro categorías: computación, en el que se abordan temas como robótica; inteligencia artificial y lógica computacional; realidad extendida, que hace referencia a la realidad virtual y aumentada, en una tercera categoría están los juegos y por último, aplicaciones y plataformas educativas.

Dentro de la información relevante encontrada en este artículo se tiene una recopilación de metodologías que utilizan la tecnología en la educación surgidas recientemente. Tal es el caso del aprendizaje adaptativo, aulas inteligentes, ecologías de aprendizaje y analíticas de aprendizaje. El aprendizaje adaptativo se refiere a la adecuación del contenido, secuencia y ritmo dependiendo de las necesidades y características del estudiante. Las aulas inteligentes utilizan tecnología avanzada para la creación de experiencias interactivas y flexibles. Las ecologías de aprendizaje, hacen referencia a recursos, contextos y estudiantes, que intervienen en el proceso de aprendizaje. Por último, las analíticas de aprendizaje se refieren a la recopilación de métricas generadas por los alumnos.

Del mismo modo, menciona estudios en los que se comienza a utilizar la inteligencia artificial (IA) en las escuelas, que van desde la predicción del desempeño académico de los estudiantes, optimización de procesos administrativos escolares y hasta una enseñanza personalizada diseñada por la IA teniendo como base las características, nivel académico y progreso de cada estudiante.

En el apartado de los juegos se menciona el impacto positivo que tiene su implementación, ya que los estudiantes aprenden mientras se entretienen interactuando con estas herramientas. Se hace referencia a una mejora tanto académica como de actitud por

parte los alumnos, en prácticamente todos los niveles educativos cuando se implementan estas estrategias en el aula. En la sección de aplicaciones y plataformas educativas se menciona. como éstas pueden adaptarse a las diferentes formas en las que aprenden los alumnos. Como pueden ser una herramienta eficaz para la evaluación formativa, que son una alternativa interesante para la implementación de tutorías y que tienen un gran potencial en diferentes escenarios educativos.

Se menciona el creciente catálogo de aplicaciones que pueden ser utilizadas en el aula para diferentes objetivos, que van desde el juego, la gestión de contenidos de las asignaturas y evaluaciones, mismas que permiten trabajar de diferentes enfoques tales como el aprendizaje móvil, ubicuo y aula invertida. Se menciona un estudio en el cual se realiza la propuesta de desarrollar aplicaciones educativas utilizando la IA.

Dentro de las conclusiones más relevantes a las que llega esta investigación están: la dificultad que implica por diversos motivos tanto de infraestructura como de capacitación, la adopción de nuevas tecnologías en el sector escolar (hecho ya mencionado con anterioridad). También hace referencia a que la innovación es un proceso constante en la escuela y es necesario instaurarla, para que todos los involucrados en el proceso de enseñanza y aprendizaje lo vean como una forma de trabajo permanente. Por último, menciona que se deja de hablar de tecnología educativa en el momento que está omnipresente en las actividades escolares.

El trabajo de Prendes y Cerdán (2021) señala como conclusión más relevante el creciente interés por la investigación de estas áreas, en años recientes se publican más artículos que abordan estos temas. Este hecho obedece al gran número de posibilidades que ofrecen para el sector educativo, tales como la evaluación, el trabajo a distancia, en línea,

híbrido; posibilitando la atención a estudiantes de distintos contextos de habilidades, conocimientos y ubicaciones geográficas.

Finalmente, en algunas investigaciones se plantea el uso con medida de las herramientas digitales en el salón de clases, en este sentido Márquez y Morales (2019) señalan que la tecnología móvil no es la herramienta que resuelve todas las problemáticas de la enseñanza aprendizaje de las matemáticas, ni de la educación en general. La tecnología móvil ofrece alternativas al proceso de enseñanza, pero resulta imprescindible que el maestro considere minuciosamente su implementación y evalúe constantemente su alcance.

El mismo autor plantea que el maestro valore qué herramientas tecnológicas utilizar y el número de éstas, para evitar que el alumno se sature y resulte contraproducente su implementación. Señala, como ya se mencionó anteriormente, tomar en cuenta el tamaño del dispositivo donde el estudiante realiza las actividades, ya que al ser de dimensiones pequeñas puede ser cansado si el desarrollo de la actividad es muy extenso. Asimismo, existe la posibilidad de que el estudiante se distraiga con facilidad al estar en un dispositivo electrónico, por este motivo es fundamental el seguimiento por parte del maestro.

Lo más relevante del análisis sobre las causas o factores que influyen en la reprobación de la asignatura de matemáticas, y el uso de las TICCAD para el proceso de enseñanza de esta misma materia, relacionado a este trabajo de investigación se destaca:

- La enseñanza de las matemáticas es un proceso complejo en el cual intervienen un gran número de variables, dentro de los principales problemas que surgen en este proceso están la falta de conocimientos mínimos en cada nivel educativo y los altos índices de reprobación,

- La motivación es un factor relacionado a la reprobación mencionado constantemente por los investigadores, el uso de la tecnología parece incidir en esta problemática.

Por otro lado, resulta fundamental detectar a tiempo a aquellos estudiantes con problemas de aprendizaje, buscando ofrecer soluciones pertinentes antes de que el problema sea más complicado de resolver. La tendencia educativa en la enseñanza de las matemáticas apunta a una incorporación tecnológica gradual, que no se convierta en un medio de discriminación (falta de dispositivos o acceso a internet). Por el contrario, una de las características interesantes de su implementación es que se puede adaptar a distintas contextos y niveles de los estudiantes. Resulta relevante estudiar y definir sus usos y objetivos, con una constante retroalimentación de los alumnos para ir mejorando el proceso, ya que se tiene que tener presente que el objetivo principal es que, la mayoría de los estudiantes alcancen los conocimientos mínimos necesarios para transitar a niveles posteriores.

La tecnología ofrece un número considerable de formas de trabajo propiciando la motivación, adaptación, aprendizaje en distintos espacios y tiempos, ritmos y niveles particulares de los estudiantes. De igual forma, la tecnología responsabiliza al alumno de adquirir su conocimiento, ya que puede ir marcando la pauta para modificar las diferentes herramientas y metodologías, dependiendo de sus resultados y observaciones. Este análisis da bases sólidas, para considerar el uso de herramientas tecnológicas en la enseñanza de las matemáticas.

Inteligencia Artificial Generativa (IAG)

Para este apartado se mencionan diferentes artículos científicos que abordan el uso de la IA y los asistentes inteligentes en los procesos educativos. En el caso del trabajo de De Vila y Lama (2007) se menciona que los sistemas de tutores inteligentes son herramientas desarrolladas con el objetivo de buscar una formación y aprendizaje personalizado. Estos se sustentan en tres principios básicos: el contenido o temáticas a abordar, la información o contexto que se tenga de los alumnos y, por último, las metodologías y estrategias para el proceso de enseñanza y aprendizaje. Dentro de sus principales funciones, al interactuar con los estudiantes se encuentran, el proporcionar alternativas o posibles caminos para que el usuario logre determinar el resultado o solución del problema que está abordando.

Por su parte Sanabria et al. (2023) realizaron un análisis bibliométrico de un total de 4,097 documentos científicos que abordan el uso de la IA en el sector educativo. Estos investigadores afirman que estas herramientas están transformando radicalmente la educación. Dentro de los principales hallazgos de este trabajo se encuentran: la atención personalizada tanto a alumnos como docentes, la predicción del desempeño académico que tendrán los estudiantes. Hacen mención al uso de los ChatBots en el sector educativo, como las principales tendencias educativas en un corto plazo. Se destaca el rol principal por parte del maestro para una implementación adecuada de esta tecnología en el aula.

En otro documento científico revisado, se menciona como ChatGPT se utiliza como apoyo para la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, en alumnos de la preparatoria en línea de la Universidad Autónoma de México (UNAM). La interacción y retroalimentación en tiempo real por parte de esta IA, el avance al ritmo de cada alumno y la personalización de contenido y ejercicios, son las principales ventajas determinadas en este trabajo. Se pone

de manifiesto la importancia de analizar y revisar la información generada por estas herramientas, dado que pueden cometer errores y sufrir alucinaciones (inventar información). Recomiendan su uso como un complemento al proceso de enseñanza y aprendizaje y no como una sustitución del maestro Gavira (2023).

Los riesgos a los que se enfrentan los estudiantes al utilizar inteligencias artificiales en el ámbito educativo, es otro tema de gran interés por los involucrados y entusiastas de estas herramientas en el sector educativo. En el trabajo de Sarrazola (2023) se mencionan diversos retos a tener en cuenta a la hora de incorporar ChatGPT en los procesos educativos. Dentro de los principales problemas identificados por este autor están los siguientes: comportamiento inadecuado de los modelos, en relación a los errores que comenten estas herramientas al resolver problemas de matemáticas. Los sesgos sobre las respuestas, el racismo y sexismo, son otras problemáticas a tener en cuenta a la hora de interactuar con las IA's, estos se dan principalmente por la información con la que fueron entrenados los modelos de lenguaje.

En la misma investigación se mencionan los diversos inconvenientes a la hora de estar interactuando con esta herramienta, señalando que es sencillo que ésta se desvíe del tema que se está tratando o que ofrezca información que no corresponda con el nivel de conocimientos del alumno. Es necesario ser consciente que esta IA no posee todo el conocimiento y que en ciertas ocasiones es complicado que interprete correctamente lo que se le está solicitando. El autor recomienda que su uso sea con precaución y con el acompañamiento de un maestro. Dado que esta herramienta puede cometer errores, este hecho genera un análisis crítico por parte del alumno al dudar de la veracidad de la respuesta obtenida. Es pertinente mencionar que este trabajo se desarrolló consultando problemas y demostraciones del nivel de una

licenciatura en matemáticas, las respuestas obtenidas de ChatGPT, incluyendo los errores, generan las conclusiones de esta investigación (Sarrazola, 2023).

Analizar el uso y opinión sobre ChatGPT de alumnos de diferentes licenciaturas en la Universidad Autónoma de Sinaloa en México, es el objetivo que se plantea la investigación de Garcia (2023). De los alumnos encuestados, la mayoría aún no utiliza esta herramienta en sus estudios, según el autor, esto puede ser por la falta de conocimiento sobre lo que esta IA puede aportar a los alumnos en su proceso educativo. En la investigación se determinó que uno de los beneficios reportados por aquellos que usan esta aplicación en el sector educativo, consiste en el refuerzo y retroalimentación al instante. Este trabajo menciona que los docentes muestran interés sobre cómo puede ser utilizada en su práctica, no obstante, existe una falta de capacitación para un uso adecuado en este contexto tanto por docentes como estudiantes.

Como se puede observar, la construcción del estado del arte consistió en la revisión de trabajos científicos de tres temas principales: reprobación, uso de tecnología en la enseñanza de las matemáticas y el uso de inteligencia artificial en el ámbito educativo. Del apartado de reprobación podemos concluir que ésta obedece a factores internos como lo son conocimientos previos deficientes, hábitos de estudio y actitud hacia la asignatura de matemáticas. La reprobación en esta asignatura también depende de factores externos tales como los maestros, la institución educativa y los materiales que se utilizan. Queda de manifiesto la relación de los resultados académicos con la preparación y competencias con las que cuentan los docentes, su capacitación resulta fundamental para abordar la complejidad de la enseñanza de las matemáticas.

Otro punto relevante de este apartado es la desmotivación que presentan los alumnos en el aprendizaje de esta asignatura. Diversos estudios destacan la importancia de utilizar

ejemplos prácticos y mostrar la utilidad de los conceptos matemáticos en la vida cotidiana. También se menciona como las herramientas tecnológicas pueden incrementar la motivación en el aprendizaje de las matemáticas. Esto se relaciona con los artículos revisados en la sección uso de tecnología en la enseñanza de las matemáticas, ya que se observa que el uso de herramientas tecnológicas mejora la motivación, comprensión y el desempeño académico por parte de los alumnos.

En este mismo apartado se pueden observar las diversas opciones que brindan el uso de las TICCAD sobre estrategias y metodologías educativas. Dentro de la primera se destaca la gamificación, ya que motiva a los estudiantes e incrementa los indicadores académicos. En cuanto a metodologías sobresalen el aprendizaje móvil, híbrido y el aula invertida, las cuales dinamizan las clases y permiten una personalización de los aprendizajes. A su vez, quedan de manifiesto los desafíos que conllevan la implementación de estos recursos tales como, la falta de infraestructura tecnológica, la capacitación docente y el diseño adecuado tanto de herramientas como de su implementación en el aula para conseguir los objetivos esperados.

De manera general, los estudiantes que utilizan la tecnología en el proceso de enseñanza y aprendizaje, suelen tener un mejor desempeño académico que aquellos que utilizan métodos tradicionales. Sobre inteligencia artificial, se observa que es una tecnología prometedora en el ámbito educativo. Dentro de sus principales ventajas se encuentran, la personalización del aprendizaje, la retroalimentación al instante y el avance al ritmo del estudiante. Dentro de los retos de su aplicación están las respuestas incorrectas, sesgos o respuestas inapropiadas. Por este motivo, se sugiere en múltiples estudios, el acompañamiento del docente o experto en la implementación de esta tecnología.

De manera general, se puede concluir que la motivación es un factor clave para obtener buenos resultados en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. En este sentido, el uso de la tecnología ha demostrado que, si es implementada correctamente, aumenta la motivación y mejora el proceso de enseñanza y aprendizaje. Si bien, estas herramientas han dado buenos resultados, es necesaria su correcta integración para evitar saturación o distracción por parte de los alumnos.

De manera general, las principales ventajas del uso de herramientas tecnológicas en el sector educativo son: la personalización y el avance al ritmo de cada estudiante. Este hecho se replica en los artículos revisados sobre IA, ya que se puede observar que este tipo de herramientas potencian la personalización de contenidos y ejercicios, así como la retroalimentación inmediata. Un punto relevante es tener presente que la preparación y capacitación docente resulta fundamental para la integración con éxito de herramientas como ChatGPT y otras IA's dentro del sector educativo.

Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM)

Este modelo fue creado por Fred Davis en el año 1989, surge para dar respuesta a la interrogante del porque algunos usuarios adoptan o rechazan alguna tecnología en particular. Este modelo se basa en la teoría psicológica de la acción razonada. Este investigador planteó que la actitud que asume el usuario hacia la tecnología determina si éste la aceptará o rechazará. Este modelo plantea que la motivación para la aceptación tecnológica depende principalmente de dos aspectos que son, la utilidad percibida y la facilidad de uso (Granić y Marangunić, 2019).

En un metaanálisis realizado por Granić y Marangunić (2019), se revisaron un total de 71 estudios científicos publicados entre los años 2003 y 2018. Estos investigadores

determinaron que este modelo es confiable para determinar la aceptación del uso de la tecnología en el sector educativo. El cual ha sido utilizando en diversas áreas del conocimiento, con diferentes tecnologías y diversos tipos de usuarios. A la par encontraron que un numero relevante de investigadores incluyeron otras variables para mejorar la predicción del uso de la tecnología, a este modelo se le ha denominado como TAM extendido, TAM ampliado o TAM++. Dentro de las variables que incorpora este modelo ampliado están la calidad del contenido, interactividad, disfrute, autoeficacia relacionada a la confianza del estudiante para utilizar las herramientas tecnológicas y normas subjetivas, que hace referencia a la opinión de personajes con cierto estatus en el círculo del estudiante (profesores, compañeros con cierta autoridad).

En la revisión realizada por Granić y Marangunić (2019) se mencionan algunas áreas de oportunidad para el modelo TAM. Esta investigación puede aportar nuevos elementos dentro de dichas áreas de oportunidad. Por ejemplo, el nivel educativo en el que se aplica este modelo ya que solo en 4% de los artículos revisados se enfocaron al Nivel Medio Superior. Otra área es la relacionada con abordar nuevas tecnologías de enseñanza, ya que en este caso se incorpora el uso de la inteligencia artificial en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, mediante el uso de un ChatBot. Otro aspecto considerado es la incorporación de nuevas variables que mejoren la predicción del modelo, bajo esta idea, se puede considerar en este trabajo la actitud, experiencia, rendimiento académico y la intención de uso en un futuro.

Sobre los ítems del cuestionario del modelo TAM, Davis publicó su primera versión en el año de 1989, el cual se puede revisar en el Anexo 1. El cuestionario contenía 28 preguntas (14 para determinar la utilidad y 14 para la facilidad de uso). Para las respuestas

utilizó una escala numérica del 1 a 7, donde 1 representaba estar completamente de acuerdo y la número 7 completamente en desacuerdo y el número 4 era neutral. Este instrumento ha sido validado de diversas maneras, para verificar la confiabilidad se utilizó alfa de Cronbach obteniendo un valor de 0.97 para la utilidad y 0.91 para la facilidad de uso. Un valor mayor de 0.9 representa una confiabilidad excelente. También se utilizó la validez convergente y discriminante, el convergente para confirmar que las preguntas en cada apartado estén altamente correlacionadas entre sí y el discriminante para determinar la no correlación entre las dos secciones. Utilizó en análisis factorial para confirmar que las la utilidad y facilidad de uso representan distintos constructos (Davis, 1989). En otro artículo publicado en el año de 1993, este investigador redujo el número de ítems del cuestionario a 10 por apartado.

Metodologías, paradigmas y teorías de los artículos revisados.

Sobre las metodologías de investigación utilizadas en las diferentes investigaciones, que abordan el uso de herramientas tecnológicas para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje, se encontró lo siguiente. La tendencia en el nivel de profundidad de las investigaciones apunta a una predominancia descriptiva y exploratoria, ya que la mayoría de investigaciones pretenden caracterizar y explorar los efectos del uso de tecnología en el aprendizaje de los estudiantes. Dentro de estas investigaciones podemos mencionar a las de Garcia (2023), Gavira (2023) y Sarrazola (2023), por poner algunos ejemplos.

En las investigaciones revisadas se observan metodologías cuantitativas, cualitativas y mixtas. En aquellas que abordan el uso de herramientas tecnológicas, el enfoque mixto con mayor presencia cuantitativa es el predominante. Estos trabajos presentan análisis estadísticos, complementado con la observación y/o la interpretación de percepciones que

ofrece el enfoque cualitativo. Investigaciones con análisis exclusivamente cualitativos y cuantitativos, aparecen en un número considerablemente menor a los mixtos.

Relacionado con este tema se encuentra los instrumentos de recolección de datos. Las principales tendencias están en cuestionarios con escala tipo Likert (Barana y Marchisio, 2020; Carvajal et al., 2019; Garcia , 2023; Vaillant et al., 2020). Pruebas de conocimientos y registros académicos, en algunos casos pre y post intervención (Ballesteros et al., 2020; Elles y Gutiérrez, 2021; Hernández, 2021; Meza et al., 2021; Reveles et al., 2022; Salazar et al., 2021). Las encuestas en diferentes formas también tienen una presencia importante en los trabajos revisados. Son utilizadas para medir motivación (Elles y Gutiérrez, 2021), para determinar la interacción y motivación de los alumnos con las herramientas tecnológicas (Márquez, 2020), para determinar la experiencia de usuario de una aplicación (Márquez y Morales, 2019). Otro instrumento utilizado aparece en el trabajo de Cantero et al. (2021), en el que utiliza la observación directa de los estudiantes con la herramienta tecnológica.

Dentro de los paradigmas de investigación educativa presentes en los diferentes trabajos revisados en este apartado, el positivista, constructivista y sociocrítico son los que se pudieron identificar con mayor claridad. En relación al primero, los trabajos utilizan métodos estadísticos y experimentales en una búsqueda de obtener resultados empíricos. Dentro de estos se encuentran las investigaciones de Garcia, (2023), Reveles et al. (2022) y Salazar et al. (2021). En el sociocrítico, los autores buscan transformar la realidad social y educativa de los individuos investigados, dentro de estos trabajos se encuentran los de Hernández, (2021) y Vaillant et al. (2020). Dentro de este paradigma se pudiera mencionar a Carvajal et al. (2019) y Sanabria et al. (2023) ya que, su objetivo principal fue determinar las implicaciones éticas y sociales del uso de IA en los entornos educativos.

Con respecto al constructivismo como paradigma, sin lugar a duda es el que se encuentra con mayor presencia en los trabajos abordados en el estado del arte. De manera general, los autores buscaron que, el individuo que busca adquirir nuevo conocimiento, sea el protagonista de este proceso involucrándose de manera activa en éste (Barana y Marchisio, 2020; Campuzano et al., 2021; Gavira, 2023; Márquez, 2020; Sarrazola, 2023). De igual manera, mediante la interacción con las diferentes herramientas tecnológicas utilizadas en sus investigaciones, éstas fueran un apoyo para la construcción de conocimientos significativos, promoviendo prácticas autónomas y de autorregulación (Ballesteros et al., 2020; Barana y Marchisio, 2020; Cantero et al., 2021; Quishpe y Vinueza, 2021; Sarrazola, 2023). En esta misma línea, otros trabajos ponen énfasis en un aprendizaje contextualizado, personalizado considerando la realidad social de los estudiantes (De Vila y Lama, 2007; Márquez y Morales, 2019; Sanabria et al., 2023).

Como se puede observar, la mayoría de investigaciones son descriptivas exploratorias. En relación al tratamiento de los datos, el enfoque mixto es el predominante, buscando el complemento tanto del análisis cualitativo como del cuantitativo. Sobre la recopilación de datos, en primer lugar, se encuentran las pruebas de conocimientos y, en segundo término, las encuestas con escala tipo Likert. Respecto al paradigma de investigación, queda claro que el constructivismo es el que actualmente utiliza la gran mayoría de trabajos. Este análisis da un marco de referencia y lineamientos claros sobre las tendencias de investigación actual y las áreas de oportunidad para el desarrollo de esta investigación.

Capítulo I: Antecedentes

A nivel mundial la enseñanza de la asignatura de matemáticas representa todo un reto para gran parte de los docentes en los diferentes niveles educativos. Ante esta situación, es evidente que un número importante de estudiantes no alcanzan los conocimientos mínimos en el nivel que están cursando (OCDE, 2018, 2022; Planea, 2017). Una de los principales efectos de esta problemática son los altos índices de reprobación que presenta esta asignatura. En México, la materia de matemáticas se encuentra entre las que tienen mayores índices de reprobación y deserción, como muestra la prueba Planea, que se realizó a nivel nacional en 2017 (la cual se encarga de evaluar los conocimientos en las áreas de lenguaje, comunicación y matemáticas en el Nivel Medio Superior), arrojando resultados alarmantes; en el apartado de matemáticas el 66.2% de los alumnos mostraron conocimientos insuficientes y el 23.3% elementales, es decir el 89.5% de los estudiantes no tienen los conocimientos esperados para su nivel educativo (Planea, 2017).

Esta problemática no es reciente, históricamente la asignatura de matemáticas ha supuesto un reto considerable para un número importante de estudiantes y para atenderla, a lo largo de la historia ha sido necesario buscar nuevos elementos innovadores que mejoren el proceso de enseñanza y aprendizaje. La evolución de estas herramientas educativas ha resultado indispensable para enfrentar estas dificultades, desde la creación y uso de los libros de texto para la enseñanza, hasta la integración de máquinas diseñadas específicamente para la enseñanza, así como la computadora, celulares y recientemente el surgimiento de herramientas como la inteligencia artificial, son elementos que buscan responder a las necesidades educativas en su momento. A continuación, se presentan estas tecnologías

emergentes que buscan dar respuesta a los desafíos educativos, con la intención de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de materias como lo son las matemáticas.

1.1 Herramientas Tecnológicas en la Educación

En relación al uso de herramientas que favorezcan el aprendizaje de los estudiantes en México, es necesario remontarse al siglo XVIII cuando aún el país era una colonia española. En aquellos años el presupuesto para educación era escaso, por tal motivo las órdenes religiosas tomaron una parte importante de la responsabilidad de educar al pueblo. Desde este periodo, se ha buscado contar con herramientas que apoyen o ayuden a los estudiantes en su formación. Las cartillas o silabarios facilitaban a los alumnos el aprender a leer, la fabricación de estos materiales no era económica, ya que tanto el papel como la tinta eran consumibles escasos, esas cartillas se pueden considerar como el inicio de los libros de texto en México. Al no tener tanta disponibilidad de tinta y papel los estudiantes aprendían a escribir trazando letras, sílabas y números en cajas con arena (Tanck de Estrada, 2010). En su momento esto representó una innovación tecnológica aplicada a la enseñanza en las aulas.

Los libros han sido uno de los pilares fundamentales en la historia de la humanidad para poder acceder y transmitir nuevo conocimiento. Un hecho que permitió su masificación fue la invención de la imprenta, ya que permitió que más personas tuvieran acceso a saberes de todo tipo. En el caso de la educación en México, los libros de texto han sido uno de los apoyos más utilizados para la enseñanza de las matemáticas en cualquier nivel educativo. En el caso de nivel básico, los libros de texto gratuitos implementados por primera vez en los años sesenta por el presidente López Mateos, representaron un gran avance para mejorar la educación de los niños en todas las asignaturas (Graves, 2010). Si bien, a lo largo de los años los libros de texto han sufrido cambios en su presentación para hacerlos más didácticos, en

tiempos actuales, falta que aprovechen aún más los avances tecnológicos disponibles a día de hoy.

En su momento México fue pionero en la implementación de libros de texto destinados a la educación. El expresidente Adolfo López Mateos decide dotar de libros de texto gratuitos a todos los niños que asistieran en la escuela primaria. López Mateos al asumir el cargo en 1958 tiene el enorme reto de resolver el gran rezago educativo por el que atravesaba el país, altos índices de analfabetismo, falta de escuelas en gran parte del territorio nacional, la deficiente preparación de un número considerable de maestros y una gran cantidad de niños que abandonaban sus estudios o simplemente no asistían a las escuelas (Graves, 2010). En 1960 se elaboraron y distribuyeron cerca de 15.5 millones de libros de texto gratuitos, para muchos niños estos fueron el primer libro que tenían en sus manos y el primer libro también que entraba en sus hogares (Canal DGEPP oficial, s.f.).

1.2 Avances Tecnológicos en la Educación

Una de las críticas más frecuentes que sufre el sistema educativo, es el lento avance tecnológico que ha tenido a lo largo de la historia. Hasta hace poco tiempo, al realizar la comparación de cómo habían evolucionado diferentes profesiones, donde se observan cambios radicales en muchas de ellas. Se hacía referencia a que, en la docencia el espacio de trabajo prácticamente no había sufrido cambios en los últimos cien años, se suele presentar la imagen de un salón con bancas para estudiantes y un pizarrón al fondo. ¿Pero porque el pizarrón ha permanecido durante todo este tiempo? No ha tenido rival o el pizarrón es suficiente en la mayoría de asignaturas a todos los niveles educativos.

A lo largo de la historia se han utilizado diversos artefactos o herramientas en los centros educativos con el objetivo de mejorar el proceso de enseñanza. Se puede considerar

a la escritura como la primera herramienta de transmisión de conocimientos. En un inicio la escritura se desarrollaba en superficies suaves como la arena, utilizando varas de madera o los propios dedos. Las tabletas son otro elemento que ha estado presente en la educación a lo largo del tiempo. Las primeras tabletas fueron fragmentos de piedra donde se tallaban símbolos o figuras. La aparición de tabletas borrables se le atribuye a Quintilian, las cuales eran fabricadas en cera y se escribía en ellas mediante una especie de lápiz de madera o metal, esta tableta se podía raspar y así tener una nueva superficie para trabajar. Fue en el siglo XVIII que en las escuelas de Europa y Estados Unidos se utilizaban tabletas de arcilla, el maestro tenía que escribir la lección en cada una de las tabletas de sus estudiantes (Muttappallymyalil et al., 2016).

Con el paso del tiempo surgió la necesidad de presentar información a una audiencia mayor, es por este motivo que surgen los tableros o pizarrones para que todos los asistentes puedan observar la información. Es en el año de 1801 que un maestro de geografía llamado James Pillans tiene la brillante idea de poner un gran trozo de pizarra en la pared para exponer la clase a sus estudiantes. Por su parte George Baron, un maestro de matemáticas de Estados Unidos se le ocurrió poner varios pizarrones de color negro en la pared, para contar con un mayor espacio para redactar. A mediados del siglo XIX la mayoría de las aulas de Estados Unidos contaban con un pizarrón para el desarrollo de las clases. Para 1960 se comenzó a introducir pizarrones de color verde o café, eran contruidos a partir de tozos de metal recubiertos con pintura cerámica, en los cuales se escribía con tiza o gis. Para finales de los años 80's se comienzan a introducir los pizarrones blancos y el uso de plumones, esto principalmente por economía y salud (Muttappallymyalil et al., 2016).

El desarrollo de equipos para la proyección de imágenes tiene un largo camino de evolución, uno de los primeros que se tiene registro es el de Johannes de Fontana en 1420, el cual proyectaba imágenes en una pared realizadas en ventanas transparentes utilizando una lámpara con fuego en su interior. Ideas como esta dieron origen al epidiascopio, el cual se fue desarrollando y perfeccionando hasta conseguir crear imágenes mediante una luz incandescente. Este artefacto sentó las bases para el desarrollo de los proyectores de linterna, los cuales se desarrollaron a finales del siglo XIX y principios del XX. Estos proyectores corrigieron diversos problemas de los equipos anteriores, tales como la proyección de imágenes borrosas o poco definidas y la necesidad de proyectar en cuartos completamente oscuros (Muttappallymyalil et al., 2016).

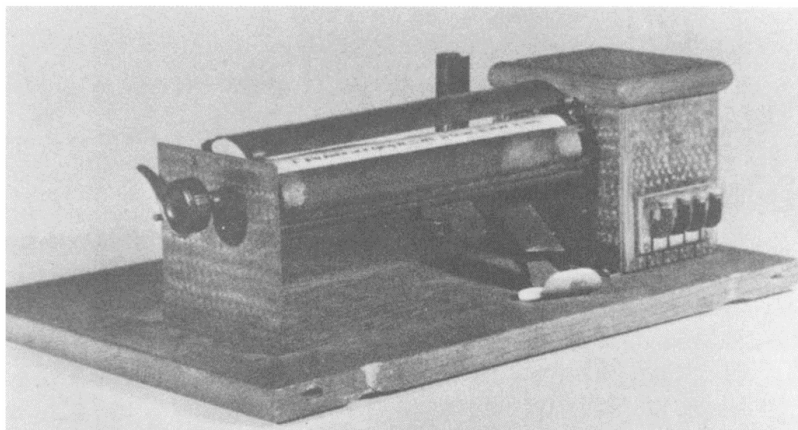
Otro elemento considerado revolucionario en el sector educativo fue el surgimiento del videoprojector, que al conjuntarse con el software PowerPoint en la década de 1990, permitió a los docentes llegar al salón de clase con materiales previamente seleccionado, ahorrando tiempo considerable. Aunque hasta la fecha se sigue utilizando el pizarrón en la mayoría de centros educativos a nivel mundial, los avances tecnológicos han favorecido que cada vez más clases se desarrollen a través de proyectores, tables o algún dispositivo tecnológico. Sin embargo, en asignaturas que requieren la resolución de problemas y ejercicios, como matemáticas, química o física, el uso del pizarrón continúa siendo fundamental (del Campo et al., 2012). No obstante, esto no significa que estas materias puedan encontrar oportunidades interesantes en estas nuevas tecnologías.

Desde el siglo XIX se comenzaron a utilizar artefactos o máquinas con el objetivo de mejorar la enseñanza. Es el año de 1920 que Sidney Pressey, psicólogo estadounidense, diseñó una máquina con la intención de mejorar y automatizar el proceso de enseñanza y

evaluación de los alumnos. La nombró máquina para test de inteligencia, este dispositivo era similar a una máquina de escribir y contaba con dos formas de funcionamiento, uno para enseñar y el otro evaluar. Este dispositivo presentaba preguntas con cuatro opciones de respuesta. En el modo de evaluación, al estudiante le mostraba diferentes preguntas y elegía la respuesta que consideraba correcta, la máquina iba grabando las respuestas que el alumno respondía. En el modo enseñanza, el dispositivo no avanzaba a la siguiente pregunta hasta obtener la respuesta correcta. Posteriormente, Pressey agregó un mecanismo que servía para dispensar dulces, si el usuario acertaba el número de respuestas correctas predefinidas, recibía un dulce como premio. En la Figura 1 podemos observar la máquina desarrollada por Pressey (Benjamin, 1988).

Figura 1

Máquina de Sidney Pressey que mostraba preguntas con respuestas de opción múltiple



Nota. Adaptado de “*A History of Teaching Machines*”, por Benjamin, L. T. (1988), *American Psychologist*, 45(4), 551–552. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.45.4.551>

La máquina de Pressey a pesar de que fue innovadora para su tiempo, no tuvo el éxito esperado. Uno de los principales autores del conductismo B.F Skinner atribuyó este fracaso a la inercia cultural del sector educativo, señaló que la educación no estaba preparada para estas ideas revolucionarias. Por su parte Skinner comenzó su incursión en las máquinas para

la enseñanza en el año de 1953, al observar cómo eran las clases de matemáticas que recibía su hija de cuarto grado de primaria. En el año de 1954 en la revista *Science News Letter* apareció un relato de la máquina de Skinner, Pressey leyó ese artículo y le envió los trabajos no publicados que él había desarrollado. En un artículo de 1958, Skinner reconoce ampliamente el valor de las contribuciones de Pressey en el desarrollo de este tipo de equipos (Benjamin, 1988).

El área de oportunidad que vio Skinner respecto a la máquina de Pressey fue que, para su uso, los estudiantes tenían que conocer los materiales previamente, eso significaba que la máquina no enseñaba nuevos contenidos a los alumnos. Por este motivo desarrolló una máquina que presentaba al usuario materiales que le permitían acceder al nuevo conocimiento en pasos muy pequeños. Otra diferencia considerable entre las máquinas fue que mientras que en la Pressey se seleccionaba la respuesta correcta entre cuatro o cinco opciones, en la de Skinner se requería que el estudiante construyera su respuesta, escribiéndola directamente en el papel. El usuario podía comparar su respuesta con la correcta, deslizando un panel a un lado. Skinner creía que el construir la respuesta ofrecía más ventajas que elegir una respuesta de un conjunto de varias opciones (Benjamin, 1988).

Este tipo de máquinas alcanzaron su máxima popularidad en el año de 1960, sin embargo, estos equipos generaron desconfianza y opiniones encontradas en diversos sectores, algunos de los cuales cuestionaban su efectividad. En la prensa se publicaron titulares como: “¿las máquinas remplazarán a los maestros?”, “¿los robots serán los encargados de enseñar a tus hijos?”, ¿Maquinas de enseñanza, bendición maldición?, entre muchos otros. Dentro de los principales argumentos en contra de estos dispositivos, estaba el de la deshumanización de la enseñanza (Benjamin, 1988). Como se puede observar,

cuando surgen teorías o herramientas disruptivas, ya sea en educación u otras áreas del conocimiento, se genera un clima de incertidumbre por el impacto que puede llegar a tener.

La adopción de estos dispositivos en el sistema educativo de Estados Unidos tuvo varios tropiezos, tales como los pocos recursos de contenido con los que contaban están maquinas, la falta de capacitación de los docentes para su uso e implementación, la resistencia de algunos docentes para su adopción, ya que creían que estos dispositivos eran un pretexto de las autoridades para que atendieran un mayor número de estudiantes. Pressey, Skinner y otros entusiastas de estos equipos habían pronosticado durante años la revolución industrial en la educación, pero esta nunca llegó. A finales de 1960 la mayoría de máquinas de enseñanza se habían retirado del mercado, artículos y ponencias sobre el tema fueron decayendo en los siguientes meses (Benjamin, 1988).

Conforme la tecnología ha ido avanzando reduciendo el tamaño, peso y costo de computadoras, tabletas y teléfonos, estos se han ido incluyendo en los procesos de enseñanza.

1.3 Antologías en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ)

En los años setenta se lleva a cabo el primer foro de reforma de la UAZ, en el cual se buscaba consolidar el compromiso social de esta institución, en ese periodo es cuando nacen los comedores y casas estudiantiles. En una breve entrevista con el Dr. Carlos Reveles Delijorge, integrante de la administración de la preparatoria a finales de los noventa, menciona que al interior de las academias del Nivel Medio Superior se comienza a hablar de la necesidad de elaborar libros de texto. La academia de Ciencias Sociales encabezada por el maestro Jesús Pérez Cuevas (destacado líder social en aquella época), propone a las autoridades y demás áreas del conocimiento, generar textos con dos objetivos principales; homogeneizar los contenidos impartidos por los maestros y apoyar a los estudiantes con

materiales asequibles a su bolsillo, que les permitiera ampliar el conocimiento recibido en clase o tener materiales de consulta aparte de los proporcionados por los maestros.

Esta propuesta no prospera hasta el segundo Foro de Reforma Universitario, realizado entre 1987 y 1988. En esos años el país atravesaba por una crisis financiera sin precedentes, se dieron las tasas de inflación más altas del siglo anterior (131.83% en 1987 y 114.16% para 1988) (Banco de México, s.f.). El costo de los bienes y servicios era bastante alto y los libros de texto o académicos no eran la excepción. Con los objetivos mencionados en el contexto de la reforma anterior, el interés por elaborar antologías para cada asignatura toma fuerza al interior de las academias. La maestra Josefina Martínez Ortiz, docente de matemáticas de la preparatoria de la UAZ, menciona que a estos materiales académicos se les da el nombre de antologías porque eran un compendio de ejemplos y ejercicios fotocopiados de diversos textos, que posteriormente se pegaban uno a uno en hojas de máquina y una vez que se tenía ordenado todo el contenido se mandaba reproducir. Martínez Ortiz menciona que desde un inicio se definió que las antologías serían un apoyo y no un negocio, el costo de las primeras antologías fue de alrededor de los \$35, cada paquete de antologías -por estudiante- tenía un precio de \$280, una cantidad todavía considerable dada la situación económica de aquellos años, algunos alumnos contaban con becas para estos materiales y las recibían sin ningún costo.

El Dr. Carlos Reveles Delijorge menciona que para reducir el costo y poder producir más antologías se creó el departamento editorial en la preparatoria. Se compró un equipo offset de impresión de segunda mano, en el que se comenzaron fabricar las antologías, también se produjeron materiales para la formación de profesores. Martínez Ortiz menciona que el acuerdo de las academias fue el actualizar y mejorar las antologías constantemente,

pero dada la poca participación de los maestros, problemática que se hereda hasta la actualidad, esto no fue posible y se estuvieron distribuyendo sin modificación alguna durante muchos años. El maestro Enrique Viramontes Cabrera menciona que las primeras antologías de Ciencias Sociales tenían un nivel ligeramente superior al deseado para los estudiantes de la preparatoria, por este motivo el docente debía apoyar a los alumnos contextualizando y explicando aún más ciertos temas para que se comprendieran mejor los contenidos. Viramontes Cabrera considera que fueron buenos libros de texto, ya que lograban el objetivo para el que fueron diseñados.

El propósito de las antologías no era que los estudiantes se convirtieran en autodidactas, sino que fueran un material de apoyo para las diferentes asignaturas que se cursaban en la preparatoria, el maestro no perdió protagonismo al introducir estos libros de texto en su práctica. No todas las academias actualizaron sus materiales, esto provocó que con el paso del tiempo los docentes las abandonaran. Fueron surgiendo libros de texto comerciales con nuevas estrategias didácticas y contenidos actualizados, algunos maestros optaban por trabajar con apuntes propios, generados a partir de estos libros. En la asignatura de inglés se solicitaba a los alumnos la compra de un libro de texto.

En el caso de matemáticas actualmente se cuenta con antologías para los seis semestres, a lo largo de los años se han ido actualizando. El problema que persiste es que pocos maestros participan en la renovación del material, por este motivo la mayoría de docentes no la utilizan actualmente en sus clases. Las antologías que se distribuyen de esta asignatura están conformadas por apuntes y problemarios creados por los docentes, son impresiones en blanco y negro que poco promueven la motivación en los alumnos para el desarrollo de las actividades, es decir, no se cuenta con materiales adecuados que respondan

a las necesidades actuales en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes, esto representa un área de oportunidad para generar contenido de calidad, que motive a los alumnos y aproveche los recursos tecnológicos disponibles.

Como resumen del capítulo, resulta relevante tener presente que la enseñanza de las matemáticas ha enfrentado retos históricos importantes. Entre los que se encuentran los altos índices de reprobación y deserción a nivel global, nacional y local. Con la intención de contribuir a la disminución de estas problemáticas, a lo largo del tiempo se han utilizado diversas herramientas tecnológicas que van desde las cartillas, pizarrones, proyectores y, en el contexto local, las antologías en la preparatoria de la UAZ. Estos avances han tenido limitaciones ya sea por la falta de actualización o simplemente se dejaron de utilizar.

En el caso de la UAP-UAZ, se puede observar como la reprobación y los promedios bajos en Matemáticas V y VI dentro del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas, muestran una problemática persistente en la UAP-UAZ. Si bien, en la actualidad se continúan utilizando antologías en esta materia, éstas no responden a las necesidades actuales de los estudiantes en relación a motivación, personalización y aprovechamientos de las TICCAD. Por estos motivos, resulta pertinente explorar estrategias innovadoras como lo pueden ser los ChatBots, que integren la pedagogía con nueva tecnología como lo es la IAG. Esto con el objetivo de reducir el rezago académico y mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

Capítulo II: Marco Contextual

2.1 Contexto Internacional

En la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), se plantean 17 objetivos con la intención de reducir la pobreza, mejorar las condiciones de vida de los seres humanos y cuidar el planeta. El cuarto objetivo de dicha agenda se enfoca en la educación, buscando una preparación incluyente, equitativa y la promoción del aprendizaje para toda la vida. En este objetivo se hace énfasis en la educación como pilar fundamental para transformar la sociedad, sobre todo en países emergentes o aquellos con rezagos económicos y sociales considerables (UNESCO, 2015).

Uno de los medios para lograr estos objetivos en la educación es utilizando, equipando, capacitando y promoviendo el uso de recursos tecnológicos en todos los niveles escolares. Esto con la intención de cerrar la brecha digital y de desigualdad, que resulta considerable en un número importante de países a nivel mundial (UNESCO, 2015).

Entre mayo y agosto de 2021, el Instituto Internacional de la UNESCO para la Educación Superior (IESALC por sus siglas en inglés), realizó una consulta a 1,199 personas de alrededor de 100 países. El 55.5% de los encuestados pertenecen a América Latina y el Caribe. El tema central de la consulta fue el futuro de la educación superior para el 2050, la cual tiene relación directa con el Nivel Medio Superior. Dada la importancia que tiene el uso de la tecnología en la sociedad actual, este tema estuvo presente constantemente en las respuestas de los encuestados (Instituto Internacional de la UNESCO para la Educación Superior [IESALC], 2021).

De manera general, la encuesta se dividió en dos apartados: esperanzas y preocupaciones sobre el futuro de la educación para el 2025. Sobre las esperanzas, no se imagina una sociedad desarrollada sin la inclusión del uso de la tecnología. En el caso específico de la educación, se hace referencia a la necesidad de que ésta se incluya en la formación de futuras generaciones. El acceso al conocimiento en busca de un desarrollo social y económico, no se concibe sin la mediación de dichas herramientas tecnológicas (IESALC, 2021). Por este motivo, el diseño y uso de un ChatBot para la enseñanza en matemáticas, puede ser un elemento que permita el acceso y democratización de la educación.

Dentro de las preocupaciones expresadas, se pone de manifiesto la necesidad de que la escuela, independientemente del nivel, propicie un uso crítico, adecuado y ético de las distintas herramientas tecnológicas. Respecto a la inteligencia artificial, se observa cierto temor por el impacto que puede llegar a tener en la educación y en la sociedad en general (IESALC, 2021). En este sentido, determinar los efectos que tiene un ChatBot en el aprendizaje, puede exponer la viabilidad del uso de este tipo de herramientas tecnológicas en el sector educativo. De forma similar, el mostrar a la IAG como una alternativa de apoyo en la escuela, puede dar otra perspectiva de su uso, contribuyendo al cambio de percepción sobre ella.

Los encuestados de América Latina y el Caribe (55.5%), son los que presentan mayor preocupación sobre la falta de acceso a la información y el uso deficiente o desigual de la tecnología. En estas regiones se tiene un importante rezago de acceso a internet y dispositivos tecnológicos. En el contexto en que se realiza este estudio (Preparatoria IV de la UAP-UAZ),

prácticamente todos los alumnos cuentan con un teléfono móvil. Por este motivo, se considera viable el uso de un ChatBot basado en IAG a través de estos dispositivos.

Del mismo modo, esta investigación se vincula con lo expresado en el estudio realizado por IESALC (2021) respecto a la urgencia de incorporar herramientas tecnológicas, para disminuir la desigualdad educativa. Ya que, éste plantea cómo el uso de un ChatBot, puede apoyar la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos a Nivel Medio Superior. Al mismo tiempo que pudiera reducir la desigualdad, tanto de acceso a la tecnología como al conocimiento, ya que el asistente se podrá utilizar en un dispositivo con el que ya cuentan.

2.2 Contexto Nacional

En el caso de México, al terminar la educación básica (primaria y secundaria), se accede al Nivel Medio Superior que atiende, en su mayoría, a estudiantes entre los 15 y 18 años de edad. De manera general, la Nueva Escuela Mexicana (NEM) tiene como objetivo general formar ciudadanos autónomos, críticos y con sentido de comunidad (Subsecretaría de Educación Media Superior [SEMS], 2023). Para el Nivel Medio Superior y sobre el uso de tecnología, la NEM menciona que la Reforma Integral de la Educación Media Superior (RIEMS), se enfocó en dotar de habilidades técnicas a los estudiantes para el uso de equipos, programas y aplicaciones con la intención de fomentar la imaginación, creatividad e innovación (Secretaría de Educación Pública, 2023b).

En este sentido, la NEM plantea la necesidad de educar para un uso adecuado de la tecnología, que le permita al estudiante aprender los conocimientos para avanzar en su formación. Se pone especial atención en la cultura digital, buscando que el alumno identifique la información relevante, verídica y pertinente temporalmente hablando, dada la evolución constante del conocimiento (SEP, 2023b). Este hecho va en concordancia con lo

mencionado anteriormente en cuanto a que se debe formar, no sólo en el uso de la tecnología, sino con el uso de ésta.

Para lograr lo mencionado en el Nivel Medio Superior, la NEM presenta el Marco Curricular Común de la Educación Media Superior (MCCEMS) (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2022), éste se divide en dos grandes áreas, el currículum fundamental y el ampliado. En el apartado del primero, la sección de áreas de recursos sociocognitivos se divide de la siguiente manera:

1. Lengua y comunicación.
2. Pensamiento matemático.
3. Conciencia histórica.
4. Cultura Digital.

Sobre la cultura digital, se busca que el estudiante pueda utilizar las Tecnologías de la Información, Comunicación, Conocimiento y Aprendizaje Digital (TICCAD), analice las aplicaciones y efectos que tiene la tecnología en la sociedad, que desarrolle las habilidades de discriminar, analizar y utilizar de forma responsable la información a la que tiene acceso. Esta signatura estaría compuesta por las siguientes áreas del conocimiento (SEP, 2023b):

1. Ciudadanía digital.
2. Comunicación y colaboración.
3. Pensamiento algorítmico.
4. Creatividad digital.

De igual manera, la NEM hace referencia a la necesidad de que los docentes cuenten con una preparación adecuada para la implementación de estas herramientas en el salón de

clases. La Comisión Nacional para la Mejora Continua de la Educación (MEJOREDU), plantea la necesidad de destinar un mayor recurso económico para el equipamiento tecnológico en las escuelas y propiciar una formación continua de los maestros, con el objetivo de capacitarlos para el uso didáctico de la tecnología en su práctica. Esto con la intención de reducir las brechas educativas que dejó la pandemia por SARS-CoV-2 y fomentar la autonomía de los aprendizajes de los estudiantes (Comisión Nacional para la Mejora Continua de la Educación [MEJOREDU], 2021).

Como se observa, tanto la NEM como MEJOREDU señalan que el uso de la tecnología es un eje fundamental en la educación a corto y mediano plazo, relacionado con la equidad digital y aprendizaje autónomo (MEJOREDU, 2021; SEP, 2023b). Para el contexto de México, tomando como referencia los lineamientos de la NEM, en la que se promueve el uso ético y responsable de los recursos tecnológicos, buscando reducir la brecha digital y el acceso al conocimiento. El diseño e implementación de un ChatBot se alinea a estos objetivos, lo cual da validez y pertinencia al desarrollo de esta investigación. Del mismo, el asistente pretende aportar a la autonomía de los aprendizajes, estando en sintonía con lo establecido por MEJOREDU.

2.3 Contexto Local

En el caso de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), dentro del Plan de Desarrollo Institucional (PDI) 2021 – 2025 y en el del Nivel Medio Superior, se retoma lo mencionado con anterioridad por la UNESCO, IESALC y la NEM. Ambos documentos hacen referencia a la pertinencia de educar en materia tecnológica y digital, a las nuevas generaciones para enfrentar los desafíos del siglo XXI. Ponen énfasis en el manejo de la tecnología por parte de los estudiantes, de cómo estas habilidades pueden ayudar en la

solución de las problemáticas sociales del estado y ser un eje fundamental en el desarrollo económico y social de la entidad (Unidad Académica Preparatoria de la Universidad Autónoma de Zacatecas [UAP-UAZ], 2021; Universidad Autónoma de Zacatecas [UAZ], 2021).

Como referencia, el Nivel Medio Superior en el estado de Zacatecas, cuenta con una población de 63,589 estudiantes, 4,850 docentes y 300 escuelas para el ciclo escolar 2023 - 2024. Del mismo modo, se tiene un promedio de 212 alumnos por escuela y 12 estudiantes por maestro, esto de acuerdo con datos estadísticos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], s.f.-b). En cuanto a la UAZ, que es una institución pública subsidiada por el gobierno federal y estatal, oferta el Nivel Medio Superior con trece planteles en once municipios del Estado. Tiene alrededor de 8,799 estudiantes, los cuales son atendidos por 600 maestros aproximadamente. Para el ciclo escolar 2023-2024, la población estudiantil se distribuye en los trece planteles tal como se muestra en la Tabla 4 (UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024).

Tabla 4

Distribución de estudiantes del Nivel Medio Superior por municipio y programa de la UAZ

Programa	Ubicación	Número de Alumnos
I	Zacatecas (2 planteles)	1,302
II	(2 planteles, 1 en Zacatecas y 1 en Guadalupe, cuenta con sistema semiescolarizado)	2,538
II	Fresnillo	1,785
IV	Zacatecas (cuenta con semiescolarizado)	1,429
V	Jerez	279
VI	Trancoso	381
VII	Tlaltenango	58
VIII	Villa de Cos	158
IX	Francisco R. Murguía	101
X	Nochistlán	103
XI	Tacoaleche	175
XII	Ojo de Agua, Guadalupe	329
XIII	Valparaíso	161
Total:		8,799

Nota. Frecuencias y porcentajes por municipio/programa; periodo 2023–2024 y corte 30/06/2024; fuente: Control Escolar/UAZ.

La presente investigación se desarrolla en el Plantel IV de la UAP-UAZ, que como ya se mencionó, está ubicado en la capital del Estado. Fue fundado en 1985, el principal motivo de la apertura en este plantel fue ampliar la cobertura para estudiantes en un espacio periférico. En la actualidad, ya quedó al interior de la mancha urbana de la ciudad. En cuanto a su infraestructura, se tienen aulas con cerca de 40 años, mientras que se han construido nuevas a lo largo de los años, para responder a la demanda de una mayor matrícula. Se cuenta con alrededor de 35 aulas, 3 centros de cómputo, 2 laboratorios de química, 1 laboratorio de inglés, 4 salas audiovisuales, 1 biblioteca, 2 canchas de básquet bol, 1 de fútbol rápido, área de oficinas, 2 complejos para sanitarios, sala de maestros, área de cubículos y 1 auditorio.

Respecto a la población estudiantil, los 1,429 alumnos son atendidos en dos modalidades:

- Sistema escolarizado: cuenta con 980 estudiantes en el cual se imparten clases presenciales de lunes a viernes en dos turnos, matutino y vespertino.
- Sistema semiescolarizado: atiende a 449 estudiantes, esta modalidad está dirigida a estudiantes mayores de 18 años que generalmente ya trabajan y asisten a clases solamente los sábados.

El programa educativo de la UAP-UAZ se divide en tres fases:

- Introductorio (primero y segundo semestre)
- Profundización (tercer y cuarto semestre)
- Especialización (quinto y sexto semestre)

En la fase de especialización los estudiantes eligen entre cuatro bachilleratos:

- Área Social Humanístico.
- Área Contable.
- Área Químico Biológico
- Área de Físico Matemático

Como ya se mencionó, la presente investigación está enfocada a los estudiantes del Plantel IV en el bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas, de la UAP-UAZ. Este bachillerato busca que los egresados cuenten con los conocimientos y habilidades necesarias para acceder a las áreas de matemáticas, física e ingeniería. Dentro de las principales características de estos estudiantes se tienen:

- Edad promedio 17 años.
- Nivel económico bajo, medio bajo.
- Algunos presentan problemas sociales tales como desestructuración familiar (padres divorciados, ausentes, drogadicción y alcoholismo en su núcleo familiar)

2.4 Calificaciones de Matemáticas de 5to y 6to de la UAP-UAZ

Como parte de la pertinencia de esta investigación, se tuvo acceso a las calificaciones de las materias de Matemáticas V y VI que se imparten en el bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas de la UAP-UAZ. Estas calificaciones van desde el año 2012 al 2023 de los planteles I, II y IV, que son los que están en la zona conurbada Zacatecas - Guadalupe, que es donde piensa incidir esta investigación. En la Tabla 5, se muestra el número de estudiantes por platel y por año (UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024).

Tabla 5

Número de alumnos por año y por plantel en el bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas

	Plantel I		Plantel II		Plantel IV	
	5to	6to	5to	6to	5to	6to
2012	106	68	175	125	158	114
2013	76	107	160	174	134	138
2014	99	72	144	107	152	119
2015	112	102	179	134	152	123
2016	94	97	187	161	160	149
2017	108	103	159	171	165	140
2018	136	88	210	141	162	142
2019	158	119	218	183	149	147
2020	137	150	207	195	176	124
2021	117	144	160	184	110	162
2022	139	136	167	144	88	102
2023	112	135	191	165	99	75
Total	1394	1321	2157	1884	1705	1535

Nota. Datos obtenidos de UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024.

De la Tabla 5 se obtiene que el Plantel I recibió alrededor de 1,357 estudiantes en promedio por los dos semestres, en el bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas durante estos doce años, el Plantel II alrededor de 1,659 y el Plantel IV cerca de 1,620, dando un total aproximado de 4,637 estudiantes entre los tres planteles, en promedio para ambos semestres, en el bachillerato ya mencionado estos doce años. Este número corresponde a la muestra de este análisis estadístico. En la Tabla 6 se pueden observar los índices de reprobación en porcentajes por año y por plantel para el examen ordinario. Contextualizando, los estudiantes realizan varios exámenes parciales durante el semestre, por lo general, si aprueban todos esos exámenes exentan el examen ordinario. En caso de reprobar algún examen parcial, tienen derecho a presentar examen ordinario. Cuando el estudiante reprueba todos los parciales, algunos docentes los mandan directamente a presentar examen extraordinario. Por este

motivo, para los índices de reprobación, se consideraron a los estudiantes que obtuvieron un NP (no presentó) en el ordinario.

Tabla 6

Estudiantes reprobados en el examen ordinario por año y plantel

	Plantel I		Plantel II		Plantel IV		Promedio
	5to	6to	5to	6to	5to	6to	por año
2012	51.8 %	45.5 %	44.0 %	48.0 %	28.4 %	53.5 %	45.2 %
2013	27.6 %	42.0 %	35.6 %	46.5 %	38.1 %	47.1 %	39.4 %
2014	37.3 %	44.4 %	38.1 %	44.8 %	46.0 %	26.8 %	39.5 %
2015	32.1 %	22.5 %	36.3 %	28.3 %	42.1 %	39.0 %	33.3 %
2016	43.6 %	47.4 %	39.0 %	44.7 %	48.5 %	51.0 %	45.7 %
2017	52.7 %	50.4 %	36.4 %	36.2 %	44.8 %	51.4 %	45.3 %
2018	52.2 %	59.0 %	33.3 %	32.6 %	51.2 %	42.2 %	45.0 %
2019	36.7 %	51.2 %	38.5 %	27.3 %	49.6 %	48.2 %	41.9 %
2020	18.9 %	15.3 %	15.4 %	10.2 %	22.7 %	37.9 %	20.0 %
2021	22.2 %	23.6 %	14.3 %	17.3 %	43.6 %	37.0 %	26.3 %
2022	28.7 %	44.8 %	10.1 %	18.0 %	54.5 %	51.9 %	34.6 %
2023	28.5 %	30.3 %	36.6 %	23.2 %	59.5 %	64.0 %	40.4 %
Promedio por grado y plantel	36.0 %	39.7%	31.5 %	31.4 %	44.0 %	45.8 %	

Nota. Datos obtenidos de UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024.

Como se puede observar en la Tabla 6 los índices de reprobación por año van desde el 20.0% en el 2020, hasta el 45.7% en el 2016. Sin lugar a duda, la baja tan repentina en el 2020 es consecuencia de los efectos de la pandemia por SARS-CoV-2. Otro comportamiento de llamar la atención en la tabla, es que después del confinamiento, los índices de reprobación han ido en aumento año con año. También se puede observar que en 6to semestre se incrementa ligeramente la reprobación, es decir, calculo integral representa mayor grado de dificultad para los estudiantes.

De la Tabla 6 se puede obtener que los índices de reprobación de la materia de matemáticas en el bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas, arroja un promedio del

38.1% en los doce años analizados. Es decir, prácticamente 4 de cada 10 estudiantes reprueban en la fase de ordinario. En la Tabla 7 se presenta el promedio de calificaciones por año y por plantel (UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024).

Tabla 7

Promedio de calificaciones por año, plantel y semestre

	Plantel I		Plantel II		Plantel IV		Promedio
	5to	6to	5to	6to	5to	6to	por año
2012	5.6	5.3	5.6	5.7	6.4	5.6	5.7
2013	6.1	6.5	5.7	5.7	6.0	5.6	5.9
2014	5.3	4.8	6.1	6.0	5.8	7.0	5.8
2015	5.3	6.0	6.0	6.2	6.1	5.9	5.9
2016	5.6	5.0	5.8	6.1	5.8	5.4	5.6
2017	5.2	5.1	5.7	5.9	5.2	6.0	5.5
2018	5.3	5.6	6.0	6.3	5.8	5.3	5.7
2019	6.0	6.1	6.0	6.8	4.8	5.8	5.9
2020	6.5	7.1	7.3	7.2	6.9	6.1	6.9
2021	6.5	6.3	7.4	7.3	5.7	5.6	6.5
2022	6.7	5.5	7.0	7.1	4.6	5.8	6.0
2023	5.7	6.0	5.8	7.4	5.2	5.7	6.1
Promedio por grado y plantel	5.8	5.8	6.2	6.5	5.7	5.8	6.0

Nota. Promedios y variabilidad (desviación estándar) en escala 0–10. Se informa el número de estudiantes total y por plantel/semestre. Los datos faltantes fueron <5% y no se reemplazaron.

Nota. Datos obtenidos de UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024.

De la Tabla 7 se obtiene que de un total de 72 calificaciones promedio, 38 están por debajo de 6 y vemos que las aprobatorias son muy cercanas al 6, salvo contadas ocasiones. Del promedio por año (última columna), 8 de 12 calificaciones son reprobatorias y del promedio por semestre y plantel (última fila), 4 de 6 calificaciones son reprobatorias (UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024). Esto indica que el promedio de estas materias está alrededor de 6, lo cual puede ser resultado de dos factores: que aun aprobando

la materia las calificaciones no sean muy altas o que, dado que la reprobación es considerable, esto baja el promedio de todos los estudiantes, o incluso pueden estar ocurriendo ambas a la vez. El promedio de todos los estudiantes a lo largo de estos doce años en ambos semestres es 6.0, lo cual representa el límite para considerarse calificación aprobatoria.

Con los datos presentados en las tablas anteriores se puede observar el panorama complejo por el que atraviesan las materias de Matemáticas V y VI en los planteles I, II y IV ubicados en la zona conurbada Zacatecas – Guadalupe. Se pone de manifiesto que existe un área de mejora considerable para elevar dichos indicadores, la cual, de cierta manera es pertinente en la búsqueda de ofrecer alternativas a los estudiantes de este bachillerato para que incrementen su aprovechamiento y cuenten con bases sólidas al ingresar a la licenciatura.

2.4.1 Cómo aportar al desarrollo esta investigación

Si bien los países de primer mundo cuentan con un desarrollo integral en la mayoría de las áreas del conocimiento, sin lugar a dudas, un área fundamental en dicho desarrollo es el de ciencias y tecnología. La idea es que, aquellos estudiantes que mejoren en la comprensión de las matemáticas, incrementan la eficiencia terminal en el nivel bachillerato, lo que implica un desarrollo educativo en sí. A nivel nacional la eficiencia terminal del Nivel Medio Superior se encuentra en el 70.2 % (SEP, 2023a). Igualmente, se espera que los estudiantes puedan ingresar a su primera opción de licenciatura al llevar una mejor preparación en matemáticas, ya que, esta materia representa un pilar básico en estas licenciaturas. Otro punto a considerar es la permanencia en la licenciatura elegida, ya que los mayores índices de reprobación y deserción se presentan en los primeros semestres de estas licenciaturas, lo cual está relacionado con una preparación deficiente previa (Tachie y Chireshe, 2013).

Otro punto relevante de la presente investigación es la búsqueda de la mejora en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, mediante el uso de un ChatBot basado en IA. En este sentido, se busca formar a los estudiantes en el uso adecuado de esta herramienta, en la búsqueda de contribuir en el desarrollo de una sociedad que utilice la tecnología en su beneficio, mejorando sus habilidades y en consecuencia, su calidad de vida.

En relación al uso y disponibilidad tecnológica con la que cuenta México según el INEGI para el 2023, se tiene que (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], s.f.-a):

1. El 43.9% de los hogares cuentan con computadora. Resulta relevante acotar que para el nivel económico bajo los usuarios de computadora es del 13.8% y 34.1% para el medio bajo.
2. El 68.5% de los hogares cuentan con conexión a internet.
3. En el caso de personas de seis años o más, el 78.6% usa internet. Este porcentaje disminuye al 57.8% en el nivel económico bajo y 80.3% en el medio bajo.
4. El 79.2% de personas con seis años o más, son usuarios de teléfono celular. 61.6% para nivel económico bajo y el 80.7% para el bajo.

Sobre el estado de Zacatecas se tiene que (INEGI, s.f.-a):

1. Los usuarios de computadora son el 29.9%, 14% por debajo de la media nacional.
2. Los usuarios de internet son del 77.7%, prácticamente igual a la media nacional.

3. El 73.6% son usuarios de teléfono móvil, 5.6% por debajo de la media nacional.

Estos datos muestran una panorámica nacional y local sobre el acceso a computadoras, internet y teléfonos celulares. Si bien, aún quedan grandes retos que afrontar para disminuir las brechas de acceso a estas tecnologías, en el contexto donde se llevará a cabo la investigación, prácticamente todos cuentan con un teléfono celular. Sin embargo, se reconoce que, otros contextos educativos no cuentan con los recursos tecnológicos para llevar a cabo implementaciones de este tipo. En estas circunstancias el maestro puede asumir el rol de mediador, proyectando al asistente mediante un cañón y una computadora, desarrollando actividades grupales de resolución de ejercicios o diagnósticos. En este escenario, los estudiantes pueden plantear preguntas y analizar las respuestas obtenidas del asistente de manera grupal. Del mismo modo, el maestro puede generar materiales impresos a partir de la interacción con el ChatBot, los cuales puedan ser proporcionados a estudiantes con menor acceso tecnológico. Estas estrategias permitirían poder adaptar el asistente a diversos contextos educativos.

Como se puede observar en este capítulo, mejorar la enseñanza y aprendizaje es un objetivo central en las agendas internacionales, locales y nacionales, aunque representa un reto importante. La asignatura de matemáticas, es fundamental en la educación obligatoria, ya que es la base para el desarrollo de otros conocimientos. Por este motivo, su evaluación suele tener un peso relevante en pruebas estandarizadas internacionales, nacionales y locales, las cuales, como se acaba de mostrar, han sido poco satisfactorias de manera general.

Considerando los datos abordados en este capítulo, relacionándolos con los bajos puntajes obtenidos por México en PISA 2022 y las limitaciones locales sobre rezago

académico y tecnológico. Se abre la posibilidad para investigar nuevas estrategias que contribuyan a superar estas problemáticas. Y una de ellas puede ser el diseño e implementación de un ChatBot basado en IAG, como herramienta de apoyo en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

Capítulo III: Marco Teórico

El marco teórico se define como una serie de estructuras estrechamente conectadas entre sí de manera coherente y con sentido lógico. Cada parte tiene su fundamento y razón de ser, siempre correlacionada con los otros apartados de la investigación. Lo relevante de este apartado consiste en la elección de las teorías que lo conformarán y como se conectan entre ellas (Bassi, 2015).

Por su parte Hernández y Mendoza (2020) mencionan que, este apartado se caracteriza por aportar elementos conceptuales que permiten hacer una lectura o interpretación del problema que se estudia y al mismo tiempo, facilitan la organización de la información empírica para que, con base en los enfoques teóricos se posibilite una intervención argumentada. Esto implica una presentación de forma coherente y organizada de teorías que den rumbo al estudio. La elaboración del marco teórico permite delimitar el planteamiento del problema, servir de guía para conseguir lo que se busca en la investigación, fijar un marco de referencia para el desarrollo de la metodología, analizando y explicando los resultados dentro de las teorías aquí mencionadas.

Dicho de otra manera, en este apartado se fundamentan las bases teórico-epistemológicas que sirven de soporte y marcan las pautas a seguir en la investigación, metodología, experimentación y análisis de datos, al abordar el problema de la enseñanza y aprendizaje de límites matemáticos, en los estudiantes de quinto semestre del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas del plantel IV en la UAP-UAZ. Resulta fundamental elegir un marco teórico acorde con las características del objeto de estudio y la naturaleza de los objetivos e interrogantes planteados en este trabajo, por lo que amerita un sustento teórico

que dé solidez a la investigación y sienta las bases para hacer una lectura de la realidad lo más objetiva posible.

La enseñanza y aprendizaje de las matemáticas representa todo un reto para maestros y estudiantes en el Nivel Medio Superior. La asignatura de cálculo diferencial e integral, no son la excepción. En el contexto actual, en el que la educación compite con diversos distractores de índole tecnológico y social, se vuelve una labor compleja despertar el interés y gusto de los estudiantes por los contenidos de esta asignatura.

Por estos motivos, es necesario y urgente un cambio radical de la enseñanza y aprendizaje en la educación. En este sentido, el uso adecuado de diferentes herramientas tecnológicas puede contribuir a motivar a los estudiantes y transformar su aprendizaje de una manera más dinámica. Este cambio es fundamental en una materia como cálculo, ya que históricamente tiene una fuerte influencia del paradigma conductista. Un paradigma se puede definir como un conjunto de creencias, valores, premisas y principios que pretenden dar solución y respuesta, a diversos problemas sociales y científicos (Contreras, 1996).

Históricamente para los maestros de matemáticas ha sido complicado tomar distancia del conductismo. Este paradigma educativo concibe al docente como actor principal, siendo el único poseedor del conocimiento, implementando estrategias con objetivos definidos que se espera cumpla el estudiante en su proceso de enseñanza y aprendizaje. Se basa en la adquisición de conocimientos o habilidades mediante estímulos y respuestas tales como los errores y aciertos, por tal motivo, la evaluación con exámenes tradicionales tiene un peso considerable en la calificación del alumno, dejando de lado la diversidad de conocimientos y experiencias que intervienen en la enseñanza y aprendizaje. En este paradigma el estudiante

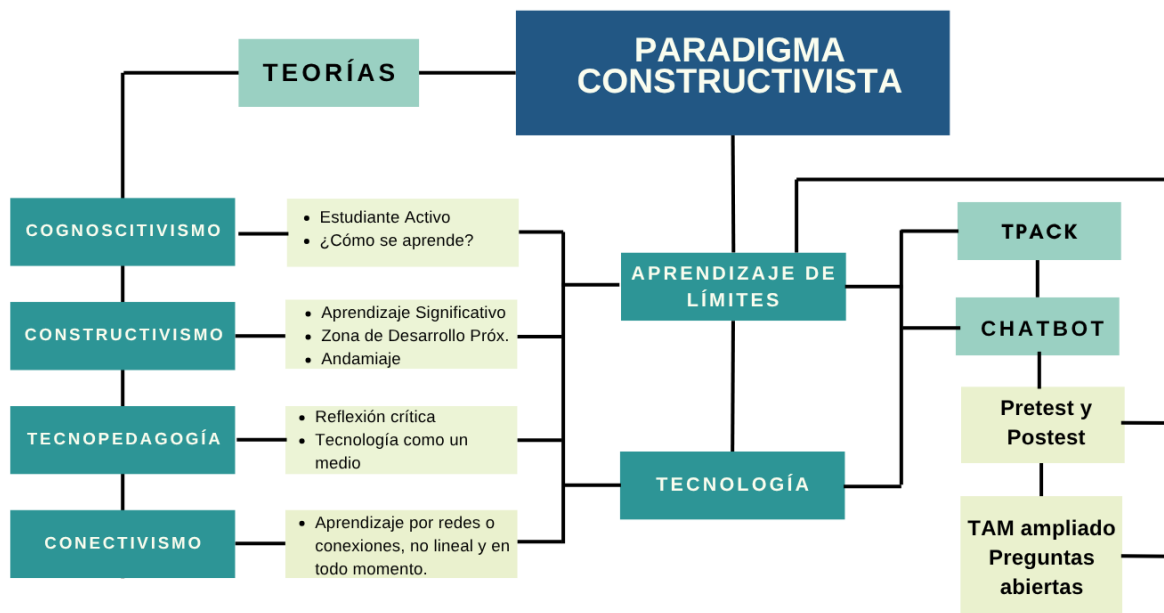
asume una actitud pasiva en su proceso de formación, es visto como un receptor de información y su función se limita a aprender de manera memorística (Posso et al., 2020).

Por los motivos recién expuestos, se vuelve fundamental que la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas consideren otros paradigmas educativos. En el desarrollo del estado del arte se observó como el paradigma constructivista utilizando herramientas tecnológicas, aporta elementos interesantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Igualmente, resulta pertinente explorar la teoría cognitivista desde un enfoque constructivista, enmarcándolas dentro de la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas y específicamente dentro del cálculo diferencial. A su vez, el conectivismo como teoría contemporánea que aborda el aprendizaje a través de redes y entornos digitales, y la tecnopedagogía utilizando el modelo TPACK, que representa un enfoque aplicado que busca una integración entre tecnología, pedagogía y el contenido disciplinar. Mas adelante se desarrollan ambos enfoques y se argumenta cómo pueden aportar a la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

En el mapa conceptual de la Figura 2 se observan las conexiones entre el paradigma constructivista, las teorías pedagógicas del cognitvismo y constructivismo, así como los conceptos tecnológicos y pedagógicos que dan soporte a esta investigación. El modelo TPACK permite la integración del ChatBot en el aprendizaje de límites matemáticos. Además, se menciona los instrumentos de evaluación de la intervención, que permitirán analizar el impacto del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje.

Figura 2

Estructura del marco teórico



Nota. Elaboración propia con base a la estructura del Capítulo III.

3.1 Paradigma Constructivista

En el desarrollo del estado del arte se observó, como el paradigma constructivista está presente en un número importante de investigaciones. Éste busca que el estudiante sea el protagonista del proceso de enseñanza y aprendizaje, involucrándose de manera activa en él. En el mismo sentido, el uso de herramientas tecnológicas bajo este paradigma, representó un apoyo para la construcción de conocimiento significativo. A continuación, se desarrollan las ideas y conceptos clave de este marco de referencia, que darán sustento al desarrollo e implementación de un ChatBot para la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

El paradigma constructivista tiene sus inicios en alrededor de 1930 cuando Jean Piaget, desarrolla sus primeros trabajos sobre el pensamiento verbal y la lógica que

desarrollan los niños. ¿Cómo se construye el conocimiento científico?, ¿Cómo se da la transición de un conocimiento de orden inferior a uno superior? Y ¿cómo se construyen las categorías fundamentales del pensamiento racional? Estas fueron las principales preguntas que dan origen a este paradigma según Piaget. Una idea central de este paradigma consiste en que, el conocimiento no es una copia de la realidad, sino una construcción activa, mediante conocimientos previos con los que cuenta el individuo (Hernández, 1998).

Uno de los fundamentos principales de este paradigma consiste en la concepción del estudiante como el protagonista del proceso de enseñanza y aprendizaje, desplazando al docente a un plano secundario. El trabajo del maestro consiste en el desarrollo de situaciones y experiencias que sean atractivas, estimulantes, motivadores y que promuevan el aprendizaje por parte de los estudiantes dependiendo del nivel cognitivo de cada uno de ellos (Hernández, 1998). El desarrollo de un ChatBot para la enseñanza y aprendizaje de límites matemáticos, pudiera abordar varios elementos en este sentido. Se prevé que esta herramienta se adapte a los conocimientos previos de cada alumno, despierte la motivación y sea lo suficientemente estimulante para que la utilicen constantemente.

Piaget concebía a la educación formal como el medio para conseguir generar personas que puedan hacer nuevas cosas y no solamente repetir lo hecho por sus antecesores. El segundo objetivo para este autor era, que los estudiantes no aceptaran lo dicho por sus profesores sin ser cuestionado, es decir, propiciar una actitud crítica (Hernández, 1998). Bajo esta idea, se retoma el trabajo de Sarrazola (2023) en el que se concluyó, que el uso de herramientas con inteligencia artificial, fomentan la reflexión crítica de los estudiantes, dado que, en el caso de las matemáticas, tienen que verificar si lo que les está diciendo el asistente es verídico.

En el mismo orden de ideas, Piaget menciona la relevancia del objeto con el que interactúa el estudiante, en el sentido de que el alumno no es el único implicado en el proceso de aprendizaje. Otro punto fundamental de este paradigma consiste en la acción que toma el individuo en el proceso de aprendizaje, el estudiante pone en movimiento conocimientos ya adquiridos, por muy primitivos que estos sean, para acercarse al objeto que busca aprender. A estos conocimientos previos, Piaget los denomina esquemas, éstos se integran, ejercitan y organizan de manera más compleja de forma gradual, los cuales desembocan en la construcción de una estructura de conocimiento (Hernández, 1998).

La acción a la que se refiere Piaget y los esquemas, resultan fundamentales para este trabajo. Ya que, el ChatBot pretende facilitar esta acción que desarrolla el estudiante, al intentar aprender y practicar con los diferentes ejercicios de límites matemáticos. Aunado a esto, se sabe que cada alumno parte de esquemas diferentes, es decir, tienen una diversidad de conocimientos previos al momento de interactuar con los ejercicios de límites matemáticos. En este sentido, se busca que el ChatBot se adapte a dichos esquemas y le permita transitar de una manera más adecuada al practicar ejercicios.

Una de las aportaciones de Lev Vygotsky a este paradigma y que resulta relevante para esta investigación, es la idea de que la enseñanza y aprendizaje es un proceso mediado socialmente. Vygotsky es de origen soviético, en el lenguaje ruso existe el vocablo *obuchenie* el cual tiene como significado enseñanza y aprendizaje, es decir, conjunta la interacción entre ambos procesos. Esto resulta relevante ya que es dentro de este paradigma, donde se concibe que estos procesos son interdependientes, es decir, no se puede dar el uno sin el otro. Retomando la mediación, ésta es llevada a cabo por artefactos y por aspectos histórico-culturales (Hernández, 1998).

Este autor plantea dos elementos básicos de artefactos que intervienen en la enseñanza y aprendizaje: las herramientas y los signos. Los signos generan cambios en los estudiantes de manera interna, sin embargo, las herramientas se conciben como elementos orientados externamente que de manera consciente o inconscientes, se involucran en el proceso de enseñanza y aprendizaje (Hernández, 1998). Bajo esta idea, el uso del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, utilizado en un entorno de aprendizaje guiado, toma el rol de herramienta mencionada por Vygotsky. Ya que este autor refiere que la interacción con estos artefactos es un elemento clave para el desarrollo cognitivo de los estudiantes y por consecuencia, en su aprendizaje.

Otro concepto fundamental introducido por el mismo Vygotsky, es el de Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). Para él, la ZDP consistía en la distancia de los conocimientos con los que cuenta el estudiante (nivel de desarrollo real), para resolver un problema de forma independiente y el nivel de conocimientos al que puede llegar (desarrollo potencial), mediante el apoyo de un mediador (Hernández, 1998). Es decir, este concepto se sustenta en la idea de que los estudiantes pueden alcanzar niveles de conocimiento superiores, si están mediados por elementos de apoyo adecuados. Bajo este concepto, el uso de un ChatBot se convierte en el mediador que permita transitar al estudiante de su zona de desarrollo real hacia la potencial.

Dentro de este paradigma resulta fundamental el buscar elementos o herramientas que permitan valorar de manera integral los avances de los estudiantes. Para Vygotsky, las evaluaciones escritas dejan de lado una parte importante de las habilidades o actitudes desarrolladas en el proceso de enseñanza y aprendizaje, por parte de los alumnos. Por este motivo, se plantea desarrollar un análisis cualitativo sobre el proceso de enseñanza y

aprendizaje, promoviendo una interacción continua entre los involucrados en la investigación (Hernández, 1998). Dentro de este trabajo se busca realizar un análisis integral, tomando en cuenta, tanto las evaluaciones escritas de los estudiantes, la observación de las interacciones de los alumnos y su percepción sobre el uso del ChatBot. Lo cual se alinea con los fundamentos recién mencionados de este paradigma. Estos procedimientos se desarrollarán a profundidad en el marco metodológico.

3.2 Cognitivismo

En los años cincuenta se generó un ambiente de desconfianza hacia el paradigma conductista, esto debido a trabajos publicados en relación con este paradigma y su enfoque en el objetivismo y el mecanicismo. Lo que se buscaba era un cambio radical al conductismo, se pretendía encontrar una forma nueva de abordar los problemas desde la base epistemológica, teórica y metodológica (Hernández, 1998). A este surgimiento se le conoció como la revolución cognitiva, la cual tenía el objetivo de priorizar los procesos mentales (Bruner, 1991) y no solo conformarse con cambios objetivos en la conducta del individuo.

Un hecho que resultó fundamental para el avance de este paradigma fue el surgimiento y rápida consolidación de la informática. La teoría cognitivista surge de plantear la analogía entre el funcionamiento de una computadora y el cerebro humano. Esta analogía hace referencia a que, tanto el cerebro como la computadora procesan diversos símbolos de manera adecuada. Dentro del cognitivismo se pueden identificar dos corrientes principales. La más reciente se desarrolla por la Inteligencia Artificial (IA), que lleva una estrecha relación con el conectivismo. La segunda, que suele identificarse como la clásica, sienta su base en la memoria, solución de problemas y análisis cognitivo. Esta última ha recibido

aportes más recientes del constructivismo, la cognición situada y el paradigma sociocultural (Hernández, 1998).

Desde el inicio de la teoría cognitivista se buscó como utilizarla en el sector educativo, al principio con poco éxito. Tuvo importantes avances con los trabajos de Ausubel y Bruner, los cuales se enfocaron en que el estudiante utilice su potencial cognitivo, con el objetivo de que aprenda a aprender y tenga la habilidad de resolver problemas (Hernández, 1998). Este paradigma a diferencia del conductismo, considera al alumno con una participación activa y sus acciones dependen de sus conocimientos previos adquiridos con el entorno físico y social (Hernández, 1998; Leiva, 2005). Este hecho resulta fundamental en el presente trabajo, ya que se busca que el alumno se vuelva el principal gestor de su conocimiento, dotándole de herramientas que le permitan adquirir autonomía en su aprendizaje.

Un punto relevante en esta teoría, es la posición en la que ubica al estudiante. Propone tres maneras en que los alumnos se aproximan al aprendizaje (Hernández, 1998):

1. Superficial: Se aprende de forma mecánica, por repetición y de forma impersonal.
2. Profunda: El estudiante busca un significado en lo que está aprendiendo, lo que implica estructurar de forma compleja ese nuevo saber, apropiándolo de forma personal.
3. Estratégico: Gestiona sus recursos dependiendo de la demanda, las tareas encomendadas y la recompensa ofrecida.

En una asignatura como Cálculo se suele priorizar la repetición y mecanización, que como ya se observó implica un aprendizaje superficial. En esta investigación se aspira a

lograr un aprendizaje que signifique algo para el estudiante y que configure de manera adecuada las estructuras mentales necesarias para que se dé un conocimiento profundo.

Otro punto a tener en cuenta sobre esta teoría es que pone de manifiesto que el estudiante cuenta con conocimientos y experiencias de aprendizaje previas, a mayores recursos más fácil es que el alumno adquiera nuevos conocimientos (Hernández, 1998). Este hecho explica porque algunos estudiantes de Cálculo, que tienen bases sólidas en asignaturas previas de matemáticas, tienen mayor facilidad para comprender los nuevos conocimientos. Esto resulta relevante para este trabajo, ya que se considera brindar una herramienta apoyada en la tecnología, a aquellos estudiantes que no cuentan con esas bases sólidas y les permita transitar de forma más adecuada.

3.3 Constructivismo

El constructivismo como teoría, surge como una ramificación del cognitivismo, sienta sus bases en el hecho de que, el individuo tiene una serie de conocimientos previos (memoria) los cuales se van modificando a través de la interacción con el mundo exterior. Mediante esta reorganización, el individuo interpreta y genera nuevos significados de la realidad (Hernández, 1998). De acuerdo con los argumentos de Carretero (1997), el constructivismo se basa en el hecho de que el conocimiento no se genera de forma espontánea, sino que el individuo va construyendo su propio saber con base en sus conocimientos previos. Éstos mediados por las interacciones, manipulación y relaciones cognitivas establecidas en experiencias directas, interacciones sociales y la maduración psico-biológica que dan como resultado el saber en un contexto o ambiente particular. A este concepto de conocimientos previos también se le suele llamar zona de desarrollo real, es decir, aquellos aprendizajes que el alumno ya posee y le permiten resolver el problema sin ayuda (Carretero, 1997).

En relación al concepto de conocimientos previos o zona de desarrollo real, cada estudiante es diferente y tiene distintas capacidades de aprendizaje, en el caso de la materia de matemáticas y en específico en la de cálculo a nivel preparatoria, los alumnos llegan con una heterogeneidad de conocimientos matemáticos. En este sentido resulta primordial tener estas diferencias presentes y ofrecer un método de enseñanza y aprendizaje que atienda las distintas necesidades de los alumnos, esto representa uno de los pilares fundamentales del constructivismo (Romero, 2009). En la medida de lo posible, a través del uso de herramientas tecnológicas, se busca dotar a los estudiantes que cuenten con deficiencias en los conocimientos matemáticos necesarios, para transitar de manera adecuada en la asignatura de cálculo.

Posterior a la zona de desarrollo real se tiene la zona de desarrollo próximo, que es otro concepto fundamental del constructivismo definido por Vygotsky. Éste menciona que es la región en donde se da el aprendizaje del estudiante, utilizando sus conocimientos previos y mediante el apoyo de un mentor, logra apropiarse de ese nuevo conocimiento (Vygotsky, 1978). Lo relevante para esta investigación, es que este mentor o maestro no está restringido a una persona, la tecnología implementada y supervisada de una manera adecuada, puede cumplir parte de esta función (López y Hederich, 2010).

Asimismo, si el nuevo conocimiento que busca adquirir el alumno, lo puede conseguir sin ayuda de un mentor o el apoyo de alguna herramienta, este conocimiento está dentro de la zona de desarrollo real. Si el conocimiento se lo puede apropiar con sus conocimientos previos y el apoyo de un mentor o de algún otro elemento, se encuentra en la zona de desarrollo próximo. Sin embargo, para que un alumno pueda lograr resolver el problema o adquirir ese nuevo conocimiento en la zona de desarrollo próximo, es necesario que el reto

sea de una dificultad acorde a sus capacidades y al apoyo que puede recibir. Si la dificultad sale de este contexto, el alumno se puede frustrar y abandonar la tarea.

Otro pilar del constructivismo es el de andamiajes, este concepto fue introducido por Jerome Bruner en 1978 tomando como base la zona de desarrollo próximo ya mencionada con anterioridad. Estos andamiajes son las herramientas, recursos o elementos que facilitan al estudiante la transición de su conocimiento actual (zona de desarrollo real) hacia lo que pretende aprender, mediante la retroalimentación o apoyo social (esta retroalimentación y apoyo puede estar mediada por el uso de herramientas tecnológicas) (López y Hederich, 2010). Este concepto resulta trascendente en esta investigación, ya que se implementará mediante el ChatBot, para intentar subsanar el rezago de conocimientos en los estudiantes al llegar al bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas y que logren construir un conocimiento significativo de los límites matemáticos. En la Figura 3 se representan los conceptos principales del constructivismo ya señalados.

Figura 3

Elementos principales del constructivismo social según Vygotsky y Bruner



Nota. Elaboración propia a partir de los planteamientos de Vygotsky (1978) sobre la zona de desarrollo próximo y de Bruner sobre andamiaje en López y Hederich (2010).

El concepto de aprendizaje significativo fue introducido por Ausubel en la década de las sesenta, proponía que este tipo de aprendizaje se genera al relacionar los conocimientos

previos con nuevos recursos diseñados específicamente para tal fin (Romero, 2009). Por su parte Romero (2009) menciona que este tipo de aprendizaje se desarrolla cuando las actividades diseñadas para la enseñanza y aprendizaje, están estructuradas de una manera adecuada propiciando que el estudiante decida aprenderlas. Dicho de otra manera, el poner como prioridad la construcción de nuevos significados utilizando los conocimientos ya adquiridos y transitando en la zona de desarrollo próximo, es el ambiente propicio para generar el conocimiento significativo. En consecuencia, dependiendo del anclaje en lo que se está construyendo con los conocimientos previos, será el grado de significancia del conocimiento adquirido. Dicho de otra manera, a mayor relación con conocimientos previos, propiciará una adquisición más significativa por parte de los estudiantes.

Por otro lado, el alumno tiene la capacidad de llegar a un nivel determinado dependiendo de lo que ya conoce, de sus capacidades y actitudes hacia los nuevos retos, sirviéndose de los andamiajes proporcionados por su mentor (el cual puede ser una herramienta tecnológica) o maestro. A ese nivel que puede alcanzar se le conoce como la zona de desarrollo potencial. Es decir, es el punto de conocimiento máximo actual, al cual puede acceder utilizando todos los recursos a su disposición. Pero es pertinente relatar que estas tres zonas (real, desarrollo próximo y potencial) son plásticas, a medida que el estudiante construye nuevos saberes, estas regiones crecen y se traslada a nuevos límites (Romero, 2009).

3.4 Teorías Secundarias o Nuevas Corrientes Educativas

3.4.1 Conectivismo

Una de las teorías secundarias o nuevo paradigma educativo que puede aportar al sustento de este trabajo es el conectivismo. Los principales exponentes de este nuevo

paradigma educativo son Siemens y Downes, ellos plantean la idea de que el conocimiento se genera en comunidad y se construye con la interacción de expertos y aprendices. Un pilar fundamental del trabajo de estos investigadores, es el hecho de que el aprendizaje se da por la formación de redes o conexiones entre distintos nodos, estas conexiones o nodos no son necesariamente mediadas por la tecnología. Hacen referencia a la interacción entre máquinas y personas en la que estas últimas van aprendiendo. Relacionado con esto, el conectivismo recibe el adjetivo de aprendizaje caótico, no de forma peyorativa, ya que se sustenta en que el aprendizaje se puede dar en cualquier momento mediante la interacción con algún equipo tecnológico, persona o grupo (Gutiérrez, 2012).

Este postulado del conectivismo sobre el aprendizaje en todo momento y con la mediación de dispositivos tecnológicos, está en estrecha sintonía con el concepto de aprendizaje móvil. El cual es abordado en diversas investigaciones dentro del trabajo que se considera desarrollar. En Quishpe y Vinuesa (2021) este aprendizaje se define como una metodología utilizando dispositivos móviles que permitan el acceso al conocimiento, sin importar el espacio y tiempo con que se cuente, lo cual resulta un punto relevante a tratar en esta investigación, ya que los estudiantes podrán acceder al ChatBot cuando así lo deseen.

Continuando con el conectivismo, los principios en que se sustenta este nuevo paradigma son (Siemens, 2004):

1. Sienta su base en una diversidad de puntos de vista de los actores involucrados en el proceso de enseñanza y aprendizaje.
2. El aprendizaje se da mediante una conexión de nodos o fuentes de información.
3. El aprendizaje puede estar mediado por dispositivos tecnológicos, aunque no son indispensables para el aprendizaje y la conformación de redes.

4. Hace referencia a la importancia de un aprendizaje continuo por encima del conocimiento que se tiene actualmente. Esto se relaciona con el concepto de aprendizaje para toda la vida, mencionado desde hace tiempo en el contexto educativo.
5. Las conexiones entre nodos tienen que nutrirse y mantenerse.
6. Hace referencia a la conexión de conocimientos en el sentido de identificar relaciones entre conceptos, áreas e ideas.
7. El tomar decisiones ya implica un aprendizaje.
8. Si tenemos la posibilidad de elegir que aprender, esto dependerá de nuestros conocimientos previos.

En la actualidad se tiene acceso a una gran cantidad de conocimiento, el cual podemos consultar desde el teléfono inteligente, tabletas electrónicas y computadoras. Para Siemens (2004) este hecho dificulta el aprendizaje con los modelos tradicionales, ya que constantemente se genera nueva información y conocimiento, es aquí donde toma relevancia la estructura de nodos y redes de aprendizaje como una forma de adquirir conocimiento mediante la gestión de estos recursos. Uno de los problemas que se tiene en la enseñanza y aprendizaje del cálculo, es que los alumnos recurren frecuentemente a la plataforma de *YouTube* en busca de explicaciones sobre los diferentes temas. Esto no es malo per se, la consideración es que el cálculo se enseña en diferentes niveles educativos y cada región geográfica tiene sus modismos, objetivos y características de enseñanza, esto puede provocar que los alumnos terminen más confundidos que en un inicio.

En este sentido el conectivismo plantea la idea de ecologías de aprendizaje, en las cuales el maestro es el responsable de su creación y supervisión, en caso de que los

estudiantes realicen aportes al sistema. Esta forma de trabajo representa una alternativa interesante para la implementación tecnológica en el aula por dos motivos:

1. Dentro del diseño de ecologías de aprendizaje mediadas por tecnología, se puede generar un ChatBot que gestione el conocimiento, en el que el maestro lo entrene con materiales y actividades, y que los alumnos puedan aportar y proponer para su mejora.
2. El ChatBot tiene la característica de ser accesible en cualquier momento, permitiendo adaptarse a las necesidades de los estudiantes (aprendizaje móvil).

Otro concepto que resulta de utilidad y que es clave en el conectivismo, es el del aprendizaje informal. Para Siemens, un escenario informal de aprendizaje sería aquel que se da fuera del salón de clase, en este tipo de aprendizaje toma relevancia el conocimiento mediado por tecnología en relación a experiencias a través de internet (Gutiérrez, 2012). Es así como el ChatBot puede ofrecer una alternativa interesante en el desarrollo de la enseñanza y aprendizaje de límites matemáticos.

3.4.2 Tecnopedagogía

La tecnopedagogía busca integrar de manera efectiva la pedagogía con el uso de tecnologías en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Karsenti, 2001). Sin embargo, este mismo autor menciona que los docentes de Canadá, Estados Unidos y Europa, a pesar de contar con conocimientos básicos sobre TICCAD, mostraban dificultades para incorporarlas de manera adecuada en su práctica. En este sentido, Beaudin y Hadden (2004) identifican tres componentes que pueden desarrollar las habilidades tecnopedagógicas en los maestros:

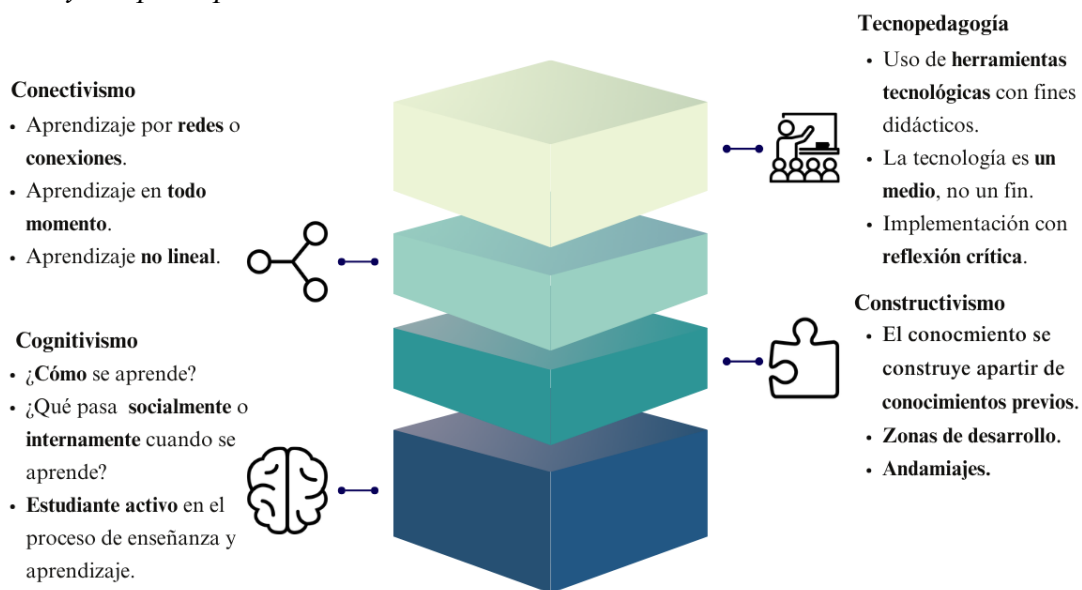
1. Metaenseñanza: que busca desarrollar un entendimiento integral del proceso de enseñanza con tecnología.

2. Exposición a la tecnología por parte del maestro al estudiante, para desarrollar habilidades tecnológicas en estos últimos y que tengan la habilidad de identificar tutoriales y materiales de calidad en internet.
3. Reflexión Crítica: Que hace referencia a que el docente analice la manera en que implementa la tecnología en el proceso de enseñanza aprendizaje, haciéndose preguntas como: ¿Es la mejor manera de abordar esto? ¿El uso de tecnología mejora la enseñanza y aprendizaje? ¿Mejoró el aprendizaje de los estudiantes? ¿Cómo identificar esa mejora? (Beaudin y Hadden, 2004).

Con esto se sientan las bases para una implementación adecuada del uso de la tecnología en el salón de clase, lo cual da la pauta para el desarrollo e implementación del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. En la Figura 4 se observan las teorías abordadas en este capítulo, así como sus elementos importantes para desarrollar la investigación.

Figura 4

Teorías y sus principales elementos



Nota. Elaboración propia a partir de las teorías abordadas en el Capítulo III.

Sobre los paradigmas educativos, es complicado tomar distancia de aquellos que estuvieron presentes desde la formación de los maestros que ahora están frente a grupo. Es decir, se enseña cómo se aprendió y aquellos docentes que no tuvieron una formación pedagógico-didáctica, suelen repetir esas formas en su práctica. Por este motivo, resulta relevante el conocimiento de los paradigmas educativos y saber cuál predomina en la práctica docente, ya que lo más probable es que la forma de enseñar de cada uno, sea una combinación de varios paradigmas. De esta manera, el reto en general del sistema educativo consiste en transitar a nuevos paradigmas dado el rápido cambio que se vive en la sociedad actual.

El paradigma del cognitivismo desde una perspectiva constructivista, ha mostrado buenos resultados en su aplicación en la educación. Esto da una base sólida para un cambio de paradigma en la enseñanza de los límites matemáticos, complementándolo tanto con el conectivismo y la tecnopedagogía, se agrega un enfoque actual e innovador a la propuesta. Es decir, se toman como base teorías probadas, apoyándolas con nuevas ideas obtenidas de corrientes educativas recientes, en la búsqueda de mejores resultados en la investigación.

En este sentido el conectivismo y la tecnopedagogía son nuevos paradigmas o corrientes educativas que ofrecen alternativas interesantes para mejorar y potenciar el proceso de enseñanza y aprendizaje en los tiempos actuales. El concepto de redes del conectivismo embona de una manera orgánica con la forma en que se está desarrollando el conocimiento en estos tiempos. Resulta interesante transitar a la conformación de estas redes entre personas y conocimientos mediante herramientas y aplicaciones, buscando dejar de lado la memorización, potenciando la resolución de problemas, el desarrollo de habilidades y conocimientos. Es así como las ecologías de aprendizaje de este paradigma pueden ser la base del ChatBot, al que se puede acceder cuando sea necesario.

Con las preguntas propuestas por la tecnopedagogía mencionadas anteriormente, se sientan las bases de un diseño adecuado del asistente. Aunque el uso de la tecnología en la educación no es reciente, aún queda pendiente su implementación de forma didáctica. Como se mencionó anteriormente, un uso adecuado de la tecnología con fines didácticos, es aquella que se vuelve invisible, es decir, el actor principal es el contenido y no la tecnología.

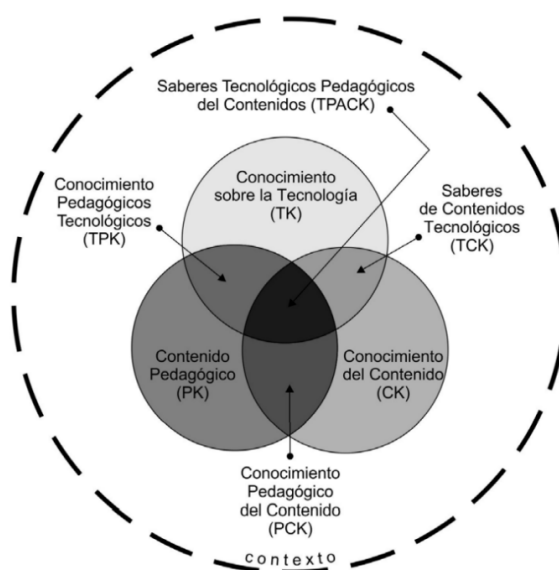
3.5 Modelo TPACK

Entre los años 2006 y 2009, Mishra y Koehler propusieron el modelo del Conocimiento Tecnológico y Pedagógico del Contenido, TPACK por sus siglas en inglés. Estos autores proponían una manera adecuada de como integrar el uso de la tecnología en el ámbito educativo. Su propuesta consiste en que el docente tenga bases sólidas en el Conocimiento Pedagógico (PK), del Contenido (CK) y Tecnológico (TK), siendo consciente de las correlaciones entre estos tres tipos de conocimientos. Estos conocimientos, se traslapan entre pares y la región donde los tres coinciden, es lo que los autores denominan TPACK (Morales, 2020).

El modelo TPACK sienta sus bases en el Conocimiento Pedagógico del Contenido de Shulman, agregando a éste, el uso de tecnología como elemento fundamental en espacios de formación académica. Como ya se mencionó, la importancia de este marco de referencia consiste en la intersección del conocimiento del contenido, del pedagógico y del tecnológico. Para que su uso e implementación sea adecuado, es necesario un equilibrio entre los tres conocimientos en los que se sustenta este modelo (Koehler et al., 2015). En la Figura 5 se pueden observar cómo se correlacionan los tres conocimientos entre sí.

Figura 5

Relación de los conocimientos en el modelo TPACK



Nota. Tomado de *¿Qué son los saberes tecnológicos y pedagógicos del contenido (TPACK)?*, por Koehler et al., 2015.

Estos tres conocimientos y su equilibrio resultan fundamentales en este trabajo, ya que por el lado Tecnológico (TK) se tiene que considerar un diseño e implementación adecuada del ChatBot, tomando en cuenta las oportunidades y retos que se pueden presentar al utilizar una herramienta de este tipo. Por parte del Conocimiento del Contenido (CK), es necesario contar con una base sólida sobre límites matemáticos del investigador, para agregar este conocimiento a la herramienta y logre guiar a los estudiantes de manera adecuada, en el estudio y solución de ejercicios sobre este tema. Por parte del Conocimiento Pedagógico (PK), resulta relevante indagar como enseñar adecuadamente límites matemáticos, para instruir al ChatBot en este aspecto y así lograr los objetivos planteados en la investigación.

Uno de los retos principales de este marco, es el uso adecuado de tecnología, ya que ésta se considera un mediador en la construcción del conocimiento. Otro punto a tener en cuenta es el avance constante de estas herramientas, lo cual implica una actualización y

capacitación constante. Sin embargo, dentro de las ventajas, el modelo TPACK hace referencia a la adaptación de la tecnología tomando en cuenta el contexto, ya sea individual o colectivo de los alumnos (Koehler et al., 2015). Bajo esta idea, el diseño del ChatBot puede atender y adaptarse a ambos contextos, tanto al nivel de conocimientos de partida del estudiante y su ritmo de avance, como a las características generales donde se implementará.

El modelo TPACK ha sido ampliamente utilizado en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, enfocado principalmente en la representación de conceptos abstractos y facilitar la visualización de problemas complejos (Koehler et al., 2015). En este sentido, los límites matemáticos, abordados en ese trabajo, se alinean con estas características, ya que su comprensión suele representar un desafío para los estudiantes. Tomando esto en consideración y con base en los tres componentes principales del modelo TPACK (conocimiento tecnológico, pedagógico y del contenido), se reconoce su potencial para un adecuado diseño e implementación del ChatBot, buscando una mejora en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

Por último, es necesario vincular las teorías educativas abordadas con el desarrollo e implementación del ChatBot, como herramienta para la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. Desde el constructivismo, se menciona que el conocimiento se construye activamente mediante la interacción significativa con problemas y ejercicios. Por este motivo, resulta relevante que el entrenamiento del ChatBot se oriente a ofrecer experiencias que representen un desafío cognitivo para los estudiantes. Del mismo modo, la zona de desarrollo próximo y el concepto de andamiaje, permiten utilizar al asistente como un apoyo temporal que acompaña a los estudiantes paso a paso y facilite la transición entre conocimientos previos y nuevos.

Por su parte, el cognitivismo aporta elementos clave, relacionados con los procesos mentales involucrados en la resolución de problemas, tales como la atención, memoria y el procesamiento de información. En este sentido, el ChatBot puede contribuir al presentar la información de forma organizada y reforzar la comprensión a través de la práctica guiada.

Igualmente, el conectivismo y la tecnopedagogía permiten comprender el rol de la tecnología como un medio para acceder, compartir y reorganizar el conocimiento en espacios digitales. Estos enfoques destacan la importancia de la retroalimentación inmediata, la interacción constante y la adaptabilidad, características que se consideran integrar en el ChatBot. Bajo estas ideas, el asistente actúa como un agente conversacional que fomenta el aprendizaje autónomo, adaptando el ritmo, nivel y estilo de cada estudiante. Es así como las teorías consideradas en este trabajo ofrecen una base sólida para el desarrollo de esta herramienta tecnológica, con el objetivo de lograr una mejora significativa en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

3.6 Marco Conceptual

3.6.1 Límites Matemáticos

El desarrollo del cálculo data del siglo XVII, los responsables de este descubrimiento fueron Newton y Leibniz. Un hecho fue que ambos hicieron sus hallazgos sin conocer el trabajo del otro. Algunos de los conceptos fundamentales en los que se basa el cálculo son: área, volumen, velocidad, razón de cambio o crecimiento y tangente de una línea. Bajo estas ideas se considera que, determinar el valor del área de una región sombreada, como el primer problema fundamental del cálculo (cálculo integral). Y obtener el valor de la pendiente de una recta, como el segundo (cálculo diferencial) (Apostol, 1967). Para Stewart (2012), el

cálculo se centra en el análisis del cambio y del movimiento, examina cómo ciertas cantidades se acercan progresivamente a otras.

Otro hecho relevante en el desarrollo de esta rama de las matemáticas es que, el cálculo integral surge mucho antes que el diferencial y se considera que el gran avance de Newton y Leibniz, fue el descubrimiento de la relación entre ambos. El libro de Cálculo de Apostol (1967), es de los clásicos que sigue ese orden (primero integral y después diferencial), por su parte Stewart (2012) los presenta de forma contraria. Sin embargo, la mayoría de textos abordan estos conocimientos de manera inversa, esto aparentemente por razones pedagógicas, intuitivas y de grado de dificultad. Se considera que los conceptos del cálculo diferencial son más accesibles y con menor carga algebraica para los estudiantes.

Al ingresar los estudiantes de la UAP-UAZ al bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas tienen contacto por primera vez con la asignatura de cálculo. Si bien, en asignaturas previas han visto conceptos matemáticos que se utilizan en cálculo, tales como funciones, desigualdades, factorización, entre otras. Es la primera vez que tienen acercamiento con conceptos como límite, derivada, integral. Por este motivo, el objetivo del programa de matemáticas cinco es que los estudiantes comprendan de forma intuitiva los límites matemáticos (UAZ, 1993), dejando el estudio más formal de ϵ y δ para la licenciatura.

El estudio de límites matemáticos puede ser considerado como la piedra angular del cálculo, ya que está involucrado en determinar el área de una región (cálculo integral) y en la obtención de la pendiente de la recta tangente de una curva (cálculo diferencial). El mismo Stewart enuncia una segunda definición del cálculo como la rama de las matemáticas que estudia los límites matemáticos (Stewart, 2012). Por los motivos recién mencionados es que

se consideró que este trabajo se enfocara sobre este concepto en particular, ya que una comprensión clara por parte de los estudiantes, pretende contribuir a un mejor entendimiento tanto de las derivadas como de los límites matemáticos.

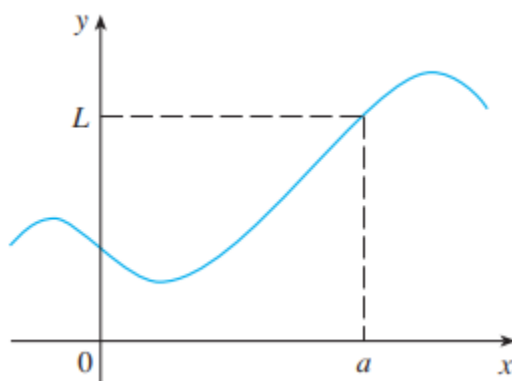
Antes de poder ofrecer una definición de límites matemáticos, es necesario conocer que es una función matemática. De manera informal Apostol (1967) define a una función como una relación que se presenta entre dos conjuntos de objetos. En el caso de Stewart (2012) una función se genera cuando una cantidad depende de otra. Como se puede apreciar, ambas definiciones son similares y resaltan la conexión entre dos conjuntos. Con ese concepto aclarado, se puede definir de manera intuitiva el concepto de límite. Para Apostol (1967) consiste en la idea de que una función $f(x)$ se puede aproximar tanto como se quiera a un valor A (eje y), siempre y cuando que x se seleccione lo más cercano a un valor p (eje x). De forma similar que en el concepto de función, la definición de Stewart (2012) es muy similar, la función $f(x)$ estará cada vez más cercano a L cuando un valor x está cada vez más cerca de un valor a , aproximándose por ambos lados de a (Figura 6). Matemáticamente un límite se representa de la siguiente manera:

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$$

que se lee como el límite de $f(x)$ tiende a L cuando x tiende a a .

Figura 6

Representación gráfica del límite matemático



Nota. Tomado de *Cálculo de una variable: transcendentales tempranas*, por Stewart, 2012, Cengage Learning.

Una vez que se abordan los conceptos recién mencionados en la asignatura de matemáticas cinco, se procede al estudio de diversos tipos de límites matemáticos. Dentro de los límites matemáticos marcados por el plan de estudios de la UAP-UAZ se encuentran:

1. Límites matemáticos por sustitución: consisten en realizar la sustitución del valor al que tiende el límite y determinar su valor o existencia.
2. Límites matemáticos por factorización (o cancelación): suelen ser límites que están indeterminados (cero entre cero) y mediante factorización o procedimientos algebraicos, eliminar los términos que están indeterminando al límite para después resolverlo, siempre y cuando el límite exista.
3. Límites matemáticos por racionalización: son ejercicios en los que aparecen raíces (radicales). Utilizando procedimientos algebraicos como el conjugado, la diferencia de cuadrados, suma y diferencia de cubos, entre otros, permitan determinar el valor al que tiende el límite, si éste existe.

4. Límites matemáticos en el infinito (∞): Son ejercicios que tienden a infinito y aplicando técnicas algebraicas, determinar si el límite converge o diverge. En este caso, el concepto de infinito representado por el símbolo “ ∞ ” indica que la variable puede tomar valores tan grandes como se desee (Stewart, 2012).

De esta manera quedan mencionados los conceptos relevantes en el estudio de límites matemáticos, que se abordan con los alumnos del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas de la UAP-UAZ.

3.6.2 ChatBot

Un ChatBot es un programa basado en inteligencia artificial (IA) diseñado para simular una conversación con personas a través de texto o voz, utilizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural. El primer asistente de este tipo recibió el nombre de ELIZA y fue desarrollado en la década de 1960 con el propósito de simular el rol de un psicoterapeuta. Sin embargo, sus habilidades conversacionales eran limitadas. A ELIZA le siguieron agentes como PARRY (1972) y ALICE (1995). Después de estos, se desarrollaron asistentes más sofisticados como Siri de Apple o Alexa de Amazon (Adamopoulou y Moussiades, 2020). Con el paso del tiempo, los ChatBots han evolucionado de ser solo sistemas basados en reglas, a plataformas con técnicas avanzadas de comprensión de lenguaje.

Estos asistentes se clasifican en dominio abierto y cerrado. En el caso de los abiertos, los asistentes tienen la capacidad de interactuar con diversos temas. Para el caso de los cerrados, están diseñados para atender áreas específicas como lo es el sector educativo. Su utilidad radica en ofrecer respuestas inmediatas y personalizadas. Lo que los convierte en

herramientas interesantes en diversos contextos sociales, como lo puede ser los negocios, salud, atención a cliente y cada vez más en la enseñanza (Adamopoulou y Moussiades, 2020).

En el contexto educativo, los ChatBots han sido utilizados como apoyo en la resolución de tareas y aportar recursos de aprendizaje. Dentro de sus beneficios se destacan: la posibilidad de la personalización del aprendizaje, refuerzo de conocimientos y motivar la participación de los estudiantes. Para los maestros, representa un apoyo en la gestión de tareas administrativas y en la personalización de estrategias pedagógicas (Labadze et al., 2023). Sin embargo, su integración en la enseñanza requiere considerar limitaciones como la fiabilidad de la información obtenida y aspectos éticos como lo es el tratamiento de los datos recabados por los asistentes.

En este sentido, su aplicación en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, representa una oportunidad para explorar el potencial de esta tecnología en el contexto de la preparatoria de la UAP-UAZ.

Capítulo IV: Metodología

4.1 Enfoque de Investigación

El método es la forma como se realizará la investigación, es decir, la serie de pasos que permiten poner en acción a la teoría (Bassi, 2015). Dicho de otra manera, este capítulo consiste en identificar la secuencia de etapas de la investigación, con el objetivo general de evaluar la intervención de un ChatBot basado en IAG, en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos en estudiantes del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas de la UAP-UAZ, tomando en cuenta el rendimiento académico y la percepción de los estudiantes.

El enfoque de esta investigación es de tipo mixto, el cual combina el método cualitativo y cuantitativo, esto con la intención de comprender de manera completa la incidencia del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. Por el lado cuantitativo se realizará un análisis estadístico de los datos recabados del modelo ampliado de aceptación tecnológica (en adelante se hace referencia a este modelo como *TAM ampliado*) y de las calificaciones en el pretest y posttest de los estudiantes. Con este análisis se busca comprender las percepciones de los alumnos sobre el asistente y medir el fenómeno de la reprobación en matemáticas.

De esta manera, se busca validar la hipótesis de que, mediante la intervención disminuyen los índices de reprobación y se mejoran las calificaciones de manera general de todos los participantes, es decir, estimar las diferencias asociadas a la intervención. Al trabajar de manera cuantitativa se busca generalizar resultados, obtener datos precisos y permita replicar la intervención. Aunado a lo anterior, esta orientación busca predecir

resultados en futuras investigaciones. Por estos motivos, el enfoque cuantitativo adopta un diseño cuasi-experimental.

La parte cualitativa tiene la intención de caracterizar el fenómeno con mayor profundidad. Desarrollando este análisis se tiene previsto comprender el objeto a investigar en su contexto. Este enfoque, al determinar la experiencia de los estudiantes durante el desarrollo de las actividades, busca percibir las diversas realidades subjetivas de cada uno de ellos. Esto permite contextualizar al fenómeno y alcanzar una mayor profundidad de significados, lo que se traduce en una riqueza interpretativa (Fernández, 2001).

Bajo esta idea, el paradigma de esta investigación es interpretativo en el análisis cualitativo, ya que se busca entender las experiencias y significados de los participantes en la investigación desde su propia perspectiva. Pretende describir el fenómeno educativo a profundidad, tomando en cuenta el contexto y las interacciones sociales. Otro punto relevante de este paradigma de investigación es que estudia creencias y motivaciones que no son evidentes ni susceptibles de experimentación (Schuster et al., 2013). Esto, como se verá más adelante, está correlacionado con los instrumentos de recolección de datos, buscando determinar dichas creencias y motivaciones a la hora de utilizar el ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. En la Figura 7 se presenta una estructura general de los principales elementos presentes en el marco metodológico, los cuales se profundizarán a continuación.

Figura 7

Marco metodológico del estudio



Nota. Elaboración propia con base en el diseño metodológico descrito en el Capítulo IV.

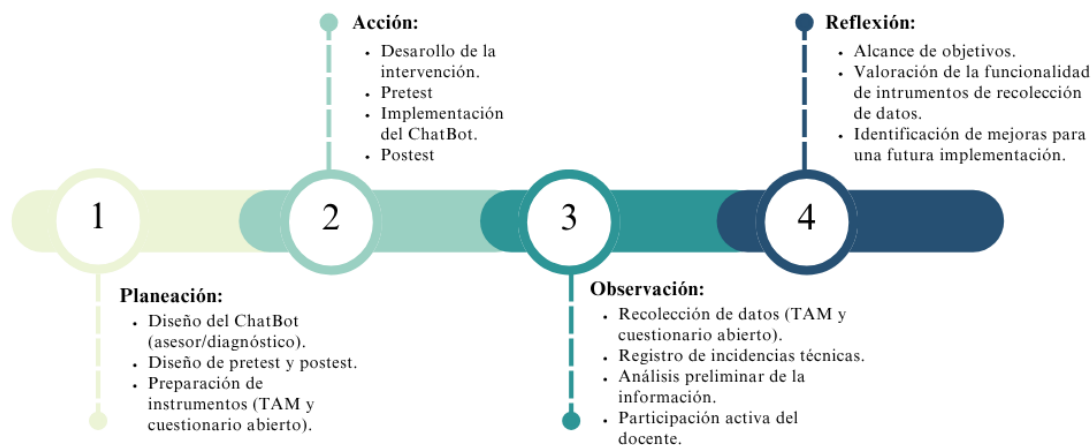
4.2 Diseño de Investigación

La investigación tradicional se ha preocupado más en crear teorías educativas que en mejorar la práctica educativa, poniendo a un lado a los investigadores y del otro a los maestros. Esta separación ha traído múltiples consecuencias en los resultados obtenidos en el salón de clase. La Investigación – Acción surge para dar un vínculo entre la teoría y la práctica, busca la mejora e innovación y comprender de manera más adecuada lo acontecido en el proceso educativo. Este diseño se puede definir como una investigación hecha por maestros, desde el centro educativo, para ellos mismos. Esto con el objetivo de resolver problemas que se presentan en el aula (Latorre, 2004). En la Figura 8 se presentan los

elementos principales de las fases de la investigación-acción desarrolladas en esta investigación.

Figura 8

Fases de la investigación-acción desarrolladas en el estudio



Nota. Elaboración propia con base a las etapas de la investigación-acción.

4.3 Fases de la Investigación-acción

En esta investigación se desarrollarán las cuatro fases de la investigación-acción propuestas por Latorre (2004) las cuales son: planeación, acción, observación y reflexión. A continuación, se describen los elementos involucrados en cada una de estas etapas.

4.3.1 Fase de Planeación

Como ya se mencionó anteriormente, la asignatura de matemáticas a nivel mundial, nacional y local enfrenta grandes retos en el Nivel Medio Superior (OCDE, 2018, 2022; Planea, 2017; Secretaría de Educación Pública, 2023a). A esta problemática se suma la falta de motivación por parte de los estudiantes para el aprendizaje de esta materia (Tachie y Chireshe, 2013). Por este motivo, esta investigación se sustenta en teorías pedagógicas

probadas como los son el constructivismo y el cognitivismo, apoyadas de modelos como el conectivismo y TPACK.

En esta etapa se lleva a cabo la planeación de la implementación, la cual consiste en el diseño del ChatBot, la elaboración de los instrumentos de evaluación (pretest y postest), así como los elementos que conforman los procesos de acción e implementación.

4.3.1.1 Diseño del ChatBot

Una de las etapas más importantes del desarrollo de esta investigación consiste en el diseño del ChatBot, ya que será la herramienta que contiene los elementos tanto teóricos como prácticos considerados en los apartados anteriores. Lo primero que se toma en cuenta para el asistente fue qué modelo de lenguaje o LLM (*Large Language Model*), por sus siglas en inglés, utilizar. Dentro de los LLM considerados estuvieron ChatGPT de Openai, Claude de Anthropic y Llama de Meta. Dado que ChatGPT cuenta con la funcionalidad de crear GPT's personalizados, incluso en la versión gratuita, que éstos pueden ser compartidos fácilmente y que el acceso a su API es fácil y económico para hacer pruebas, se decidió optar por esta alternativa. Una API es una interfaz de programación de aplicaciones, la cual resulta necesaria para que los alumnos accedan desde una página *web* al asistente y que éste funcione con una versión del modelo de lenguaje determinado. Esto permite que el ChatBot trabaje con la versión más avanzada, eliminando la barrera que supone trabajar con la versión gratis y así obtener mejores resultados en la calidad de las respuestas.

Como se verá más adelante, se presentó una serie de retos a resolver, cuando estos aparecieron, en algunas ocasiones se consultó otros LLM's tales como Claude y Llama, pero se observó que presentaban básicamente las mismas problemáticas, por tal motivo se decidió continuar con ChatGPT para el desarrollo de este proyecto. Prompt es un término utilizado

en el contexto de IAG, este término se puede definir como la instrucción que se le proporciona al modelo de lenguaje o IAG, con el objetivo de que éste genere una respuesta (Radford et al., 2019). En el prompt se le indicará al ChatBot que trabajaría con estudiantes con conocimientos heterogéneos de matemáticas, desde aquellos que tienen dificultades considerables, hasta aquellos con conocimientos sólidos y facilidad para el aprendizaje de esta materia. Las edades están entre los 16 y 17 años y que estos alumnos tienen la intención de continuar sus estudios a carreras relacionadas con las matemáticas, principalmente ingenierías.

Otra indicación relevante que se le proporcionará al ChatBot es que su objetivo principal será ayudar a comprender de manera clara y servir de apoyo para que los alumnos alcancen un nivel considerable en la comprensión y solución de límites matemáticos. Los límites matemáticos considerados dentro del ChatBot son por sustitución, cancelación, racionalización y en el infinito, esta selección se realiza, como ya se mencionó anteriormente, con base al programa académico vigente de la UAP-UAZ.

Uno de los primeros problemas al inicio del desarrollo del ChatBot fue que los ejercicios que proponía eran muy básicos y repetitivos, constantemente mostraba los mismos. Por este motivo, se optó por proporcionarle un archivo con una serie de ejercicios para que tomara de ahí los que presentaría a los estudiantes. Una dificultad que se presentó en esta etapa fue que el asistente no podía leer el archivo PDF que contenía los ejercicios, la forma en que se resolvió este inconveniente fue transformando los problemas a código Latex (código para escritura de ecuaciones) en un archivo de *Word*. Que el asistente cuente con ejercicios preseleccionados por el maestro ofrece diversas ventajas, dentro de las que se encuentran que el ChatBot proporcione solo ejercicios que están en el archivo y de esta

manera, crear un ambiente controlado para los alumnos, evitando que se propongan ejercicios muy diferentes a los que se suelen trabajar en este nivel y contexto educativo. En la Figura 9 se puede observar la interfaz inicial de la versión final del asistente, incluyendo sus funciones principales.

Figura 9

Interfaz principal del ChatBot con sus diferentes funciones



Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla del ChatBot desarrollado para la investigación.

4.3.1.1.1 ChatBot como asesor

Al ChatBot se le darán dos funciones principales como asesor de matemáticas. La primera es como asesor para el estudio de algún tipo de los límites matemáticos mencionados anteriormente. En esta función lo primero que haría el ChatBot es darle una serie de pasos o recomendaciones para abordar y resolver el tipo de límite elegido. Posteriormente le preguntaría al estudiante si le gustaría que resuelva un ejercicio de límite paso a paso. La otra posibilidad es que al alumno se le proponga un ejercicio para que él lo resuelva, dándole cinco posibles respuestas.

En las pruebas, cuando al ChatBot tenía que proporcionar respuestas de opción múltiple, se detectó que en algunas ocasiones la correcta no estaba dentro de las propuestas. Para solventar este inconveniente se optó por incluir las respuestas en el archivo de los ejercicios precargados en el ChatBot, indicándole que tomara la respuesta solamente de esta fuente. Para que la herramienta se pudiera adaptar al nivel de cada estudiante, se le indicó que proporcionara ejercicios de una dificultad progresiva. Sin embargo, en las pruebas partía con ejercicios de un nivel considerable.

Atendiendo a este hecho, se optó por clasificar los ejercicios de cada tipo de límite en tres categorías: básicos, intermedios y avanzados. De esta manera, el ChatBot comenzará con ejercicios de nivel básico y va preguntando al estudiante si desea subir de nivel o continuar en el mismo. Esto contribuirá a una mejor adaptación a cada estudiante, proporcionando una experiencia personalizada y una progresión gradual. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de esta funcionalidad con la versión final del ChatBot.

Figura 10

Ejemplo de la función como asesor del ChatBot

Ayúdame a estudiar límites por cancelación.

¡Perfecto! Vamos a estudiar **límites por cancelación** 😊

🧠 ¿Qué son los límites por cancelación?

Los límites por cancelación ocurren cuando al sustituir el valor de x en la expresión obtienes una **indeterminación del tipo $\frac{0}{0}$** . Para resolverlos, es necesario **factorizar** el numerador y/o el denominador para **cancelar factores comunes**, y así poder evaluar el límite sin la indeterminación.

🌟 Pasos para resolver un límite por cancelación

1. **Sustituye el valor de x** para verificar si obtienes una indeterminación $\frac{0}{0}$.
2. **Factoriza** el numerador y/o denominador.
3. **Cancela factores comunes** (los que causan la indeterminación).
4. Sustituye nuevamente el valor de x en la expresión simplificada.
5. Escribe el resultado.

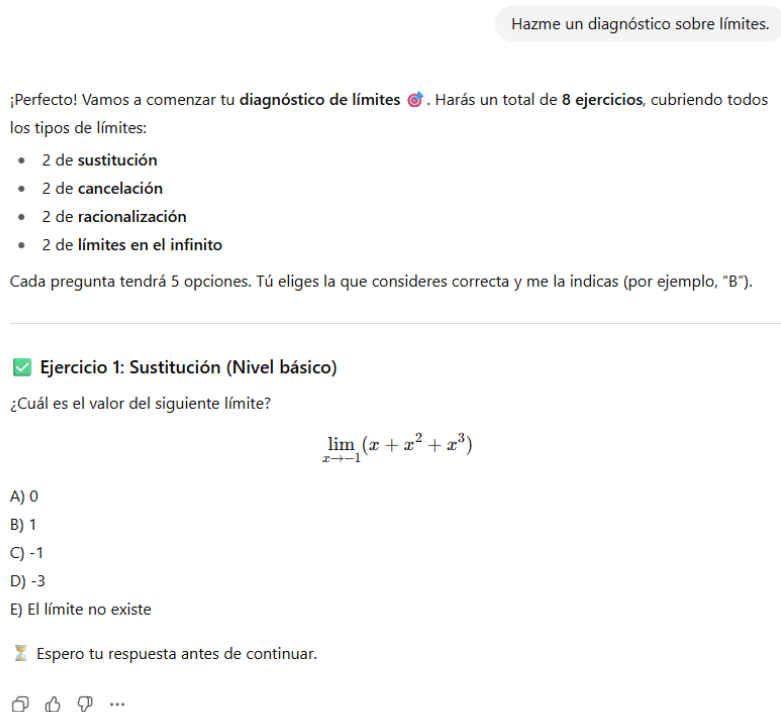
Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla del ChatBot desarrollado para la investigación.

4.3.1.1.2 ChatBot para diagnóstico

La segunda función principal que se le dará al ChatBot es la de realizar un diagnóstico o autoevaluación. En esta modalidad se le proporcionarán al estudiante ocho ejercicios, dos de cada tema (sustitución, cancelación, racionalización y en el infinito). Se le presentarán de uno por uno, mostrando cinco posibles respuestas. Si elige la correcta, pasa al siguiente ejercicio. Si la respuesta fue incorrecta, el asistente resuelve el ejercicio explicando paso a paso la solución. Dado que es un diagnóstico, se proporcionará un ejercicio básico y uno intermedio de cada categoría, dejando los avanzados para aquellos que quieran profundizar en la solución de límites matemáticos. En la Figura 11 se observa como se muestra un ejemplo de esta funcionalidad en el ChatBot.

Figura 11

Funcionalidad de diagnóstico del ChatBot



Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla del ChatBot desarrollado para la investigación.

Al final del diagnóstico el asistente proporcionará una retroalimentación del desempeño del alumno, clasificándolo en excelente al obtener ocho respuestas correctas, muy bueno si obtuvo siete, bueno al obtener cinco o seis respuestas correctas. Y en el caso de obtener menos de cinco respuestas correctas, se le indicará al estudiante los temas donde tuvo más fallas y se le sugerirá que repase dichos temas. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de la retroalimentación al final del diagnóstico en la versión final del ChatBot.

Figura 12

Ejemplo de retroalimentación de la función de diagnóstico

 Resultados del Diagnóstico		
Veamos cómo te fue en total:		
Ejercicio	Tipo	Resultado
1	Sustitución (básico)	✗
2	Sustitución (intermedio)	✗
3	Cancelación (básico)	✓
4	Cancelación (intermedio)	✗
5	Racionalización (básico)	✗
6	Racionalización (intermedio)	✓
7	En el infinito (básico)	✗
8	En el infinito (intermedio)	✓
✓ Total correctas: 3 de 8		
 Resultado final: Repaso recomendado		
No te preocupes, ¡vas por buen camino! 🥳 Aquí tienes una recomendación personalizada:		
 Temas a reforzar:		
• Sustitución (tanto básico como intermedio) • Racionalización básica • Límites en el infinito		
Puedo ayudarte a repasar uno por uno , con explicaciones claras y ejercicios prácticos 💡		

Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla del ChatBot desarrollado para la investigación.

Otra indicación que tendrá el ChatBot es que use emoticones para que haga más atractiva la interacción. Sin embargo, en pruebas se detectó que cuando el estudiante se equivocaba, el asistente ponía cruces rojas o puntos rojos. Por este motivo se le indicará al asistente que la retroalimentación sea positiva, con empatía y teniendo presente que estará interactuando con estudiantes del Nivel Medio Superior, que utilice un lenguaje acorde a esa edad para que conecte mejor con los alumnos. En la Figura 13 se muestra un ejemplo de esta retroalimentación en la versión final del asistente, al responder incorrectamente un ejercicio.

Figura 13

Retroalimentación positiva del ChatBot en respuesta incorrecta

¡Gracias por tu respuesta! Vamos a resolver el ejercicio paso a paso para ver si fue correcta 🤗.

■ Ejercicio:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \sqrt{\frac{x^2 + 3x + 4}{x^3 + 1}}$$

♦ Paso 1: Sustituimos directamente $x = 2$ en la expresión.

Primero, evaluamos el numerador:

$$x^2 + 3x + 4 = (2)^2 + 3(2) + 4 = 4 + 6 + 4 = 14$$

Ahora el denominador:

$$x^3 + 1 = (2)^3 + 1 = 8 + 1 = 9$$

Entonces la expresión queda así:

$$\sqrt{\frac{14}{9}} = \frac{\sqrt{14}}{3}$$

✅ Respuesta correcta: C) $\frac{\sqrt{14}}{3}$

Tu respuesta fue B) $\frac{9}{4}$, que no es la correcta 😞. Pero vas muy bien, ¡esto es práctica y poco a poco dominarás todos los tipos de límites! 🌟

Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla del ChatBot desarrollado para la investigación.

También se le instruirá para que, en caso de que se le pregunten temas fuera de la asesoría de límites matemáticos, informe cuál es su objetivo y no responda a preguntas que no tengan relación con límites o matemáticas. Esto se hace por dos motivos, el principal es

que se utilice el ChatBot para el fin que fue diseñado y el segundo, para evitar un gasto excesivo sobre la facturación del asistente, ya que recordemos que se está utilizando la API la cual genera un cargo por cada consulta realizada. El pago de dicha factura estará a cargo del titular de esta investigación.

La mayor parte de todo este desarrollo se hará en un GPT desde una cuenta de paga de ChatGPT, una vez que se considere que el asistente funciona adecuadamente, se realizarán pruebas desde la API de *OpenIA*.

4.3.1.2 Diseño de los exámenes escritos

Se cuenta con una base de datos de 142 ejercicios de los cuatro temas de límites matemáticos (sustitución, cancelación, racionalización y en el infinito). Se realizará una clasificación de ejercicios básicos, intermedios y avanzados dentro de cada tema. Esta clasificación tiene relación directa con el concepto de zona de desarrollo próximo de Vygotski, ya que se considera que el ChatBot se adapte al nivel de cada estudiante y le pueda brindar ejercicios que le permitan transitar de su zona real, a la de desarrollo próximo en búsqueda de alcanzar la zona de desarrollo potencial de cada estudiante.

Posteriormente a la clasificación, se generarán cuatro exámenes diferentes tomando dos ejercicios de cada tema, eligiendo uno básico y uno intermedio. Esto en razón de que resolver estos dos niveles representan un conocimiento adecuado para el Nivel Medio Superior. Si bien, no cabe duda que algunos estudiantes pueden resolver los de nivel avanzado, éstos se consideran para un grado de alguna ingeniería. Aquellos alumnos que busquen dicho reto, podrán acceder a ellos mediante la interacción con el ChatBot.

Se garantizará que todos los exámenes tengan los ejercicios correctos en cuanto a nivel y tema. Cada estudiante recibirá dos exámenes diferentes de los cuatro generados, uno en el pretest y otro diferente en el posttest. Por este motivo, no se les entregarán resultados hasta haber concluido la implementación.

1. Observación:

- Durante la interacción de los estudiantes se llevará un diario de observación por parte del docente, con la intención de recabar información que se considere relevante en el desarrollo de las diferentes actividades al implementar el ChatBot.

2. Reflexión:

- Una vez realizada la implementación de la herramienta y habiendo contado con los registros y datos obtenidos, se procede a su análisis y reflexión en la búsqueda de comprender, cuáles fueron los efectos del uso del ChatBot en la forma de estudiar y en los resultados académicos obtenidos por parte de los estudiantes. Esto, mediante diversas técnicas tanto cuantitativas como cualitativas, en la búsqueda de obtener conclusiones lo más imparciales posibles.

Sobre las variables de investigación de este trabajo, estas se pueden observar en la Tabla 8, las cuales pretenden evaluar la implementación del ChatBot para ayudar en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos a estudiantes del Nivel Medio Superior del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas. Se muestra la columna variable, que hace referencia al elemento principal que se desea medir o evaluar en la investigación. Los aspectos específicos de cada variable están dentro de la dimensión y permitirán una evaluación más detallada. El indicador es el aspecto concreto que muestra la presencia o nivel de la dimensión evaluada. Definición operacional hace referencia de manera clara a lo que

se entiende de cada indicador para este trabajo. La herramienta o método para la recopilación de la información necesaria de cada indicador está contenida en la columna de instrumento. En la escala de medición se menciona la unidad que se utilizará para cuantificar, calificar o determina los datos recogidos. Por último, el ítem indica la pregunta específica con la que se medirá cada indicador.

Tabla 8

Desglose de las variables y sus características en la investigación

Variable	Dimensión	Indicador	Definición Operacional	Instrumento / Escala de Medición	Ítem
Efecto del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos	Comprensión de los conceptos relacionados al cálculo de límites matemáticos.	Cambios en la capacidad de comprender y aplicar conceptos para la solución de límites matemáticos mediante el ChatBot.	Evaluación del dominio de los temas de límites matemáticos antes y después de la intervención	Pretest, postest (Puntuación de 0 a 10) Preguntas abiertas (análisis cualitativo)	8 ejercicios por prueba. Preguntas abiertas: 5,7 y 8.
	Percepción de efectividad	Opinión de los estudiantes sobre la utilidad y efectividad del ChatBot para aprender límites matemáticos.	Valoración subjetiva del impacto de ChatBot en su aprendizaje de límites matemáticos.	TAM ampliado (Escala de Likert de 1 a 5)	Ítems 5 a 11.
Percepción de los estudiantes sobre el uso del ChatBot	Facilidad de uso	Grado de satisfacción de los estudiantes con el uso del ChatBot.	Opinión de los alumnos sobre la facilidad de uso, diseño y accesibilidad del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje.	Cuestionario de percepción TAM ampliado (Escala Likert de 1 a 5)	Ítems: 1,2,3 y 4
	Percepción de utilidad	Opinión de los estudiantes sobre la utilidad del ChatBot para el aprendizaje de límites matemáticos	Valoración de la utilidad percibida del ChatBot, para resolver dudas y mejorar su comprensión.	Cuestionario de percepción TAM ampliado (Escala Likert de 1 a 5)	Ítems: 5, 6, 7 y 8.
	Actitud hacia el uso	Nivel de satisfacción del ChatBot	Grado de satisfacción de los estudiantes con la experiencia de utilizar el ChatBot	Cuestionario de percepción TAM ampliado	Ítems: 9, 10 y 11

Resultados según el grupo de estudiantes	Intención de uso	Nivel de motivación de uso futuro de herramientas de este tipo.	Cambio en la motivación de los estudiantes hacia el aprendizaje después de utilizar el ChatBot	(Escala Likert de 1 a 5) Cuestionario de percepción TAM ampliado (Escala Likert de 1 a 5)	Ítems: 12, 13 y 14.
	Experiencia de uso	Opinion de los alumnos respecto a la experiencia de usuario con el ChatBot.	Grado en que los estudiantes perciben la experiencia del uso del ChatBot.	Cuestionario de percepción TAM ampliado (Escala Likert de 1 a 5)	Ítems: 15, 16 y 17
	Rendimiento académico por grupo	Diferencia en las calificaciones pretest y posttest entre los tres grupos (bajo, medio y alto)	Evaluación de cómo las calificaciones iniciales y finales cambian dentro de cada grupo de estudiantes después de la implementación	Pretest y Posttest Puntuación 0 a 10	8 ejercicio de límites.
	Percepción de efectividad por grupo	Opiniones sobre la utilidad y actitud hacia el uso (motivación), reportadas por cada grupo de rendimiento académico.	Comparación de cómo los estudiantes de cada grupo (baje, medio y alto) perciben el impacto del ChatBot en su aprendizaje.	Cuestionario de percepción TAM ampliado (Escala Likert de 1 a 5) Preguntas abiertas (análisis cualitativo)	TAM ampliado de 5 a 11. Abiertas: 1, 2, 3, 5, 7 y 8.

Nota: La escala de Likert va de 1 (completamente en desacuerdo) a 5 (completamente de acuerdo)

4.3.2 Fase de Acción

La etapa de acción se desarrollará en tres fases principales: aplicación del pretest, implementación del ChatBot y aplicación del posttest. La primera etapa consistirá en realizar el pretest, la cual atiende directamente al objetivo específico número uno, el cual consiste en realizar un diagnóstico inicial sobre el dominio de los límites matemáticos. Como se mencionó anteriormente, se generarán cuatro exámenes diferentes, cada alumno recibirá uno de manera aleatoria y tendrá 90 minutos para resolverlo. Esta etapa se prevé realizar a finales del mes de octubre de 2024.

La segunda etapa corresponderá a la implementación del ChatBot, prevista para finales de noviembre de 2024. Se espera la participación de los 37 estudiantes que conforman el grupo. Durante esta fase se realizarán tres sesiones de una hora, donde el investigador llevará un registro de los acontecimientos relevantes durante la interacción con el asistente. Se contará con dos instrumentos de recolección de datos: el cuestionario TAM ampliado y un cuestionario de preguntas abiertas. Del primero, junto con los resultados del pretest y postest, se obtendrá el análisis cuantitativo, mientras que del cuestionario de preguntas abiertas se realizará el análisis cualitativo.

La tercera etapa será la aplicación del postest. A los estudiantes se les proporcionará uno de los cuatro exámenes generados en un inicio, asegurando que no coincida con el resuelto en el pretest. Esta etapa se llevará a cabo a finales de noviembre de 2024, dejando cerca de un mes entre pruebas, con el fin de evitar sesgos de memorización y determinar con mayor claridad el efecto del ChatBot en el rendimiento académico.

4.3.3 Fase de Observación

En esta etapa se recolectarán los resultados del postest, las respuestas del TAM ampliado, así como las obtenidas del instrumento de preguntas abiertas. Es pertinente recordar que el enfoque de esta investigación es mixto. Desde la parte cuantitativa se revisarán los datos obtenidos en el pretest, postest y el TAM ampliado. Por el lado cualitativo, se analizarán las respuestas del cuestionario de preguntas abiertas y las observaciones registradas por el investigador. Dentro de estas, se prestará especial atención a posibles problemas técnicos del ChatBot, así como a las reacciones y actitudes de los estudiantes al interactuar con el asistente. También se registrarán incidentes no previstos previamente.

Como parte de la investigación-acción, el investigador asume un papel más allá del de observador, ya que funge como facilitador de la implementación (Latorre, 2004). Por este motivo, el investigador participará de manera activa durante la implementación, registrando comportamientos, actitudes y comentarios de los estudiantes durante las sesiones con el ChatBot. Para este objetivo, se contará con una bitácora de registro de incidencias, fotografías y respuestas escritas en los instrumentos de recolección de datos.

Estas observaciones se relacionarán tanto con los resultados cuantitativos como con los cualitativos, con la intención de aportar más elementos para determinar el efecto de la implementación del asistente en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. Los datos recabados durante esta etapa serán analizados posteriormente con los procedimientos descritos en el apartado 4.6.

4.3.4 Fase de Reflexión

Una vez realizada la implementación del ChatBot y la aplicación de los diferentes instrumentos de recolección de datos, junto con el registro de observaciones e incidencias, se valorará si se cumplió tanto el objetivo general como los específicos de esta investigación. De manera general, estos consisten en determinar el impacto del asistente en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. Esto a través de la realización de un diagnóstico de conocimientos, recabando las percepciones sobre la interacción con la herramienta y valorando si hubo una mejora en el rendimiento académico en el posttest por parte de los estudiantes.

Se analizarán los resultados obtenidos de los diferentes instrumentos aplicados pre y post intervención del ChatBot. Se buscarán patrones o similitudes sobre las percepciones de los estudiantes y los resultados de las evaluaciones. Del mismo modo, se revisarán las

respuestas del instrumento de preguntas abiertas buscando elementos que hagan referencias a las diversas teorías que sustentan esta investigación. Con el propósito de determinar las implicaciones de estos comportamientos para la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

Igualmente, en esta etapa se revisará si el diseño del ChatBot cumplió adecuadamente con los objetivos para los cuales fue diseñado, los cuales son: ser un apoyo temporal en la enseñanza y aprendizaje de los diferentes tipos de límites matemáticos, mediante explicaciones detalladas, resolución de dudas, diagnósticos del nivel de dominio de los temas e interacción en espacios temporales disponibles para los alumnos. En los instrumentos de recolección de datos, se valorará si tanto el pretest como el posttest, ofrecieron la información necesaria para realizar los análisis de los cambios en el rendimiento académico. En el caso del TAM ampliado, si éste reflejó adecuadamente las percepciones de los estudiantes sobre la intervención del asistente. Respecto al cuestionario de preguntas abiertas, si éstas fueron suficientes para permitir a los estudiantes expresar de manera adecuada, las opiniones sobre el uso de esta herramienta como apoyo en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

A la fecha de desarrollo de este estudio y como se observó en el estado del arte, las IAG suelen cometer errores al resolver problemas matemáticos (Gavira, 2023; Sarrazola, 2023). Para Sanabria et al. (2023) resulta fundamental el acompañamiento del docente en el proceso de implementación de este tipo de herramientas por diversos motivos. Bajo estas ideas, se analizará la relevancia de este acompañamiento al estar utilizando herramientas con IAG, ya que la postura de esta investigación consiste en ver este tipo de herramientas como

potenciadoras del aprendizaje, no como un sustituto del maestro en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Uno de los puntos relevantes en la investigación-acción consiste en la mejora continua mediante la aplicación reiterada de sus cuatro fases (Latorre, 2004). Esto con el objetivo de que en cada nueva intervención se corrijan errores o se aporten elementos para la obtención de mejores resultados. Por este motivo, esta primera intervención fija un punto de referencia para aplicaciones posteriores. Las conclusiones obtenidas en esta etapa se presentan en el Capítulo V, donde se analizan a detalle los resultados obtenidos y las implicaciones en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos durante la intervención.

4.4 Contexto y Participantes

Como ya se mencionó en el marco contextual, la investigación se desarrolla en el Nivel Medio Superior, específicamente en el plantel IV de la Unidad Académica Preparatoria de la UAZ. Es una escuela pública ubicada en la capital del estado de Zacatecas, la cual cuenta con un total de 1,463 alumnos inscritos en el ciclo escolar 2022 – 2023, de los cuales 1,120 están inscritos en el turno matutino y 343 en el vespertino. Del total de estudiantes, 698 son hombres y 765 mujeres (UAP-UAZ, comunicación personal, 30 de agosto de 2024).

Para el semestre julio – diciembre 2024 se tuvo acceso a un grupo del quinto semestre, específicamente el 5ºH del bachillerato de Ciencias Físico-Matemáticas, el cual está conformado por 37 estudiantes (15 mujeres y 22 hombres). La edad de los estudiantes se encuentra entre los 16 y 17 años. Dado que fue el único grupo con estas características al que se tuvo acceso, el muestreo es no probabilístico por conveniencia.

Recordemos que en el cuarto objetivo específico se plantea analizar el impacto del ChatBot en tres grupos de estudiantes. Para definir estos tres grupos, se tomará como base el rendimiento académico durante el semestre, aplicando una técnica de terciles, dividiendo la muestra en tres partes iguales. El procedimiento consistirá en promediar la primera evaluación (desigualdades), el pretest (primera evaluación de límites matemáticos) y el último examen del semestre (derivadas). Para esta clasificación no se tomará en cuenta la nota obtenida en el posttest, para evitar incluir el sesgo provocado por la intervención del ChatBot.

Una vez que se contó con la información de las evaluaciones recién mencionadas, el primer tercil agrupa a los estudiantes con menor rendimiento académico, en el cual se obtuvieron promedios de 0.0 a 2.0 siendo un total de once estudiantes. En el segundo tercil se encuentran diez estudiantes con promedios entre 2.1 y 6.9. Y en el último tercil con diez estudiantes se encuentran los que obtuvieron un promedio de 7.3 a 9.6. Esta división garantiza una clasificación equitativa, lo que permitirá desarrollar diversas pruebas estadísticas entre los grupos.

Otro punto relevante para este trabajo es el acceso a la tecnología por parte de los alumnos. En el marco contextual se menciona que todos los estudiantes cuentan con un teléfono móvil, en el cual estarán desarrollando principalmente las actividades. El punto a tener en cuenta es el del acceso a internet, ya que no todos suelen tener conectividad todos los días. La escuela ofrece una red wifi para estudiantes, pero suele saturarse e impedir la navegación. A la hora de la implementación se les avisará con tiempo para que cuenten con dicha conectividad y se les ofrecerá conexión mediante el dispositivo del maestro, en caso de ser necesario.

Como ya se mencionó en varias ocasiones, el tema que se aborda en este trabajo es el de la resolución de límites matemáticos, dentro de la materia de cálculo diferencia. Este tema representa la segunda evaluación del programa de la preparatoria. Como referencia del nivel académico de los estudiantes, en la primera evaluación, solo considerando el examen escrito el cual se califica en una escala de 0 a 10. Solamente 16 estudiantes lograron una calificación igual o mayor que 6, obteniendo un promedio del total del grupo de 3.97 y una desviación estándar de 3.93.

4.5 Instrumentos de Recolección de Datos

En este apartado se describen las técnicas que permitirán la obtención de los datos. De manera general, son instrumentos precisos que marcan una serie de pasos a seguir. Es imprescindible que estén alineados con el problema planteado, los objetivos, el marco teórico y demás apartados del marco metodológico (Bassi, 2015). A continuación, se mencionan los instrumentos que se utilizarán para recabar los datos e información en esta investigación.

4.5.1 Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM)

Como se mencionó en el estado del arte, el modelo de aceptación tecnológica (TAM) es un instrumento ampliamente utilizado, con alta confiabilidad y validado por un gran número de investigadores. Es utilizado en aquellos trabajos que buscan determinar el impacto del uso de herramientas tecnológicas en diversos contextos sociales. En el sector educativo ha sido utilizado considerablemente con el mismo fin. Se recuerda que este modelo se ha ido actualizando a lo largo del tiempo, con la intención de responder a nuevas tecnologías y nuevos contextos educativos. Este modelo que permite la medición de más variables respecto al desarrollado por Davis, se le conoce como modelo de aceptación tecnológica extendido o ampliado (TAM ampliado).

El modelo original de Davis de 1989, media la percepción de utilidad, la percepción de facilidad de uso y aceptación o actitud hacia el uso. En esta investigación se busca medir esas tres variables agregando la intención de uso del ChatBot, experiencia de uso y percepción en el rendimiento académico, por tal motivo, en este trabajo se optó por un modelo TAM ampliado. Estas variables ya se han utilizado en este instrumento en trabajos científicos anteriores. En la Tabla 9 aparecen los ítems y de que investigaciones fueron retomados, haciendo las adecuaciones pertinentes al contexto de este trabajo.

Tabla 9

Ítems del modelo TAM ampliado con las fuentes de donde se obtuvieron

Categoría	Definición Operacional	Ítems de medición	Adoptado de:
Percepción de facilidad de uso	Valoración de la simplicidad en el manejo del ChatBot.	• Resulto fácil aprender a utilizar el ChatBot • El ChatBot es fácil de usar. • Es fácil obtener la información que quiero del ChatBot. • La interacción con el ChatBot es clara y comprensible.	Davis (1989), Islam (2013)
Percepción de utilidad	Grado en que el ChatBot es considerado útil para apoyar el aprendizaje.	• El ChatBot me ayuda a aprender mejor los conceptos de límites (sustitución, cancelación, racionalización, infinito). • El uso del ChatBot ha mejorado mi comprensión de los problemas de límites. • El ChatBot me permite resolver mis dudas de manera rápida y eficiente. • Creo que el ChatBot es útil como complemento en mi proceso de aprendizaje.	Davis (1989), Liaw (2008), Islam (2013)
Actitud hacia el uso	Valoración positiva o negativa hacia el uso del ChatBot	• Utilizar el ChatBot para el aprendizaje de límites es una buena idea. • Tengo una opinión positiva sobre el uso del ChatBot para el aprendizaje de límites. • Me gusta la idea de utilizar el ChatBot para aprender límites.	Davis (1989), Esteban et al. (2018), Liaw (2008)
Intención de uso	Disposición mostrada a continuar utilizando el ChatBot	• Si están disponibles, planeo seguir utilizando los ChatBots para estudiar temas de matemáticas en el futuro. • Recomendaría el uso del ChatBot a mis compañeros para practicar ejercicios de matemáticas.	Davis (1989), Esteban et al. (2018)

		• Me gustaría que otros conceptos de matemáticas se enseñen utilizando un ChatBot similar.	
Experiencia de uso	Percepción del grado de satisfacción y apoyo recibido la interactuar con el ChatBot	• El ChatBot responde rápidamente a mis preguntas sobre los conceptos de límites. • Me siento cómodo/a usando el ChatBot para resolver ejercicios de límites. • Creo que el ChatBot me permite aprender a mi propio ritmo.	Liaw (2008)
Rendimiento académico	Percepción del impacto del ChatBot en el desempeño académico.	• Mi rendimiento académico en los temas de límites ha mejorado desde que empecé a usar el ChatBot. • Desde que uso el ChatBot, me siento más seguro/a al resolver ejercicios de límites por mi cuenta. • Desde que uso el ChatBot, dedico más tiempo al estudio de límites. • Considero que el uso del ChatBot me permitirá obtener mejores resultados en la evaluación.	Liaw (2008), Islam (2013)

Nota. Ítems adaptados del TAM/TAM+; se consigna fuente original por ítem.

Este cuestionario se piloteó con 16 estudiantes del primer semestre de la carrera de ingeniería mecánica de la UAZ. Se calculó el alfa de Cronbach para determinar la confiabilidad del instrumento, obteniéndose un valor de 0.87. Si bien el cuestionario original desarrollado por Davis (1989), en el apartado de respuesta consideró una escala tipo Likert con siete posibles respuestas, para este trabajo se consideró una escala con cinco posibles respuestas. Dentro de los principales motivos de esta elección están: una selección de respuestas más sencilla y rápida para jóvenes que no tiene mucha experiencia respondiendo cuestionarios. A su vez, reduce la sobrecarga de los encuestados al tener menos opciones de respuesta. Las posibles respuestas serán: totalmente en desacuerdo (1), en desacuerdo (2), neutral (3), de acuerdo (4) y totalmente de acuerdo (5).

Como se puede observar, este instrumento obtiene datos cuantitativos, los cuales serán analizados con diversas técnicas estadísticas descritas más adelante. Recordemos que dentro de los objetivos específicos de este trabajo está determinar el efecto del ChatBot en la

enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, por este motivo se diseñará un cuestionario con preguntas abiertas. En estas preguntas los estudiantes compartirán si el ChatBot cambia el cómo entendieron los ejercicios de límites matemáticos, cuál es su reacción en caso de detectar errores cometidos por la herramienta. Que realicen una comparativa de como habían entendido el tema antes de la implementación y que cambia después. Si hubo algún tema en específico en el que el ChatBot aporta nuevos elementos y si éste, cambia la concepción de cómo pueden estudiar o repasar temas matemáticos.

Igualmente, se desarrollará una guía de observación de las sesiones por parte del docente, con la intención de registrar reacciones, apoyo a los estudiantes, inconvenientes, resolución de dudas y desempeño del ChatBot. El cuestionario de preguntas abierta y la guía de observación aportan el análisis cualitativo de este trabajo. Como ya se mencionó anteriormente, la unión de ambos enfoques pretende analizar de mejor manera los efectos del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, que es el objetivo general de esta investigación.

Otra fuente de recolección de datos consiste en el registro de las calificaciones, tanto del pretest (primer examen escrito de límites matemáticos) y el posttest (examen de límites matemáticos posterior a la intervención).

4.6 Procedimiento de Análisis de Datos

Recordemos que el enfoque de esta investigación es mixto y el objetivo general consiste en evaluar el impacto de la intervención del ChatBot basado en IAG, en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, considerando el rendimiento académico y la percepción de su uso. Al analizar datos de manera cuantitativa y cualitativa, se busca

caracterizar de mejor manera los resultados obtenidos en la implementación del asistente en el aula.

Sobre el análisis de datos, para la parte cuantitativa se utilizarán los programas estadísticos *JAMOV* y *JASP*, ambos de código abierto, que permiten realizar diversas pruebas para un análisis integral de los datos recabados. Se aplicará estadística descriptiva (medias, medianas, desviación estándar y porcentajes) para analizar los resultados. Así como pruebas inferenciales como la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas. Esto con el fin de comparar los puntajes obtenidos en el pretest y posttest. Del mismo modo, se analizarán las distribuciones de las calificaciones para determinar la dispersión y las tendencias centrales, así como correlaciones y diferencias entre grupos de rendimiento académico. Estos procedimientos permitirán evaluar el posible impacto del ChatBot en el rendimiento académicos.

Para la parte cualitativa se utilizará el software *MaxQDA*, con el objetivo de analizar y codificar las respuestas abiertas obtenidas en las preguntas abiertas. Se realizará una codificación deductiva, tomando los conceptos básicos de cada una de las teorías abordadas en el marco teórico (constructivismo, cognitivism, TPACK y conectivismo). Inicialmente se procederá a una lectura general, posteriormente a la codificación y, por último, a la agrupación por categorías. Una parte de los datos se presentarán mediante citas textuales representativas, con la posibilidad de revisar más ejemplos en el anexo 2. Este análisis permitirá interpretar las percepciones de los estudiantes relacionando los resultados del cuestionario TAM ampliado, el pretest y posttest.

4.7 Consideraciones Éticas

En este apartado se abordan las consideraciones éticas tomadas en cuenta durante el desarrollo de la presente investigación. Previo a la primera evaluación escrita del tema de límites matemáticos (pretest), se explicará a los estudiantes en qué consistirá la investigación, incluyendo sus objetivos y procedimiento. Se enfatizará que su participación es completamente voluntaria y que no habrá consecuencias positivas o negativas, por el hecho de participar o no en ella. Este compromiso ético quedó demostrado en la implementación, al observar que cinco estudiantes decidieron no participar en la etapa de implementación. Al iniciar la implementación se les leerá una carta de confidencialidad en la que se explica que los datos recabados a lo largo de la intervención, serán utilizados exclusivamente para fines de esta investigación. Además, se informará que no se publicarán nombres ni datos que comprometan la identidad de los participantes, asegurando así su privacidad.

Para recolectar la información, se entregarán cuestionarios impresos a cada estudiante. Antes de responder, se les darán instrucciones claras sobre cómo completar cada apartado. Se insistirá en que respondan con toda libertad y sinceridad, ya que su nombre no se incluirá en los instrumentos de recolección de datos. Del mismo modo, se buscará generar conciencia sobre la importancia de su participación, garantizando la validez de los datos obtenidos.

Por parte del investigador, se asumirá un compromiso de no manipular los datos recolectados. Se está consciente de que el resultado de la investigación puede ser positivo, negativo o nulo. En el mismo sentido, para evitar sesgos por parte del investigador, fue que se elige el enfoque mixto, buscando que los datos recabados hablen por sí mismos y que las

percepciones de quien desarrolla este trabajo, influyan lo menos posible. Aunado a esto, se tomarán las siguientes medidas en el desarrollo de esta etapa de la investigación:

- **Consentimiento informado:** Aunque los estudiantes no firmarán un documento de consentimiento, se garantizará que comprenden el propósito de este trabajo y se le dará la posibilidad de retirarse en cualquier momento o etapa de la investigación.
- **Confidencialidad:** Si bien, las evaluaciones escritas (pretest y posttest) llevarán el nombre de cada estudiante para poder identificar su calificación, el instrumento de recolección de datos no. Cada estudiante conocerá solo su calificación en ambas pruebas.
- **Neutralidad en la implementación:** La intervención se realizará con el objetivo de no influir en la percepción y desempeño académico de los alumnos, se evitará cualquier tipo de presión.

Por los motivos recién señalados, se considera que esta etapa de la investigación se llevará a cabo bajo principios éticos, en la búsqueda de garantizar en todo momento el respeto hacia los estudiantes y salvaguardando los datos, con la intención de lograr una investigación objetiva.

4.8 Limitaciones Metodológicas

En este apartado se exponen las limitaciones metodológicas identificadas durante el desarrollo de este trabajo. Una de ellas es el tamaño de la muestra, ya que se cuenta con 37 estudiantes y este número dificulta la generalización de los resultados obtenidos. Otra consiste en que, el desarrollo de la investigación se realiza en un solo plantel y en un turno específico, lo que limita la representatividad de los resultados en otros contextos.

Otro aspecto relevante es la experiencia de los estudiantes al utilizar el ChatBot. Durante las pruebas, se identificaron errores en algunas respuestas, si esto se presenta en la implementación, puede influir negativamente tanto en su rendimiento académico como en su percepción sobre la herramienta. Adicionalmente, otros factores como el mal funcionamiento de algunos dispositivos móviles o la inestabilidad de la conexión a internet, pueden afectar la calidad de la interacción de algunos estudiantes.

El hecho de que solo se contarán con tres sesiones de una hora, es otro elemento a tener en cuenta, ya que este tiempo puede ser insuficiente para evaluar el impacto a largo plazo en el aprendizaje de los límites matemáticos. Al tratarse de un estudio transversal, los resultados obtenidos reflejarán únicamente el efecto a corto plazo. Del mismo modo, resulta necesario considerar que, al estar trabajando con personas, los resultados pueden estar influenciados por factores internos y externos. Estos factores pueden ser la motivación, el interés y la actitud hacia las matemáticas, los cuales no pueden ser controlados, pero interviene en la experiencia y los resultados obtenidos.

Aunado a lo anterior, al ser un trabajo con un diseño cuasi-experimental, los hallazgos obtenidos no necesariamente pueden ser aplicables a otros contextos educativos o grupos de estudiantes. Adicionalmente, la evaluación de la percepción de los alumnos a través de cuestionarios, puede no reflejar completamente su experiencia, esto por evitar dar respuestas negativas o no reflexionarlas.

Por otro lado, aunque las pruebas escritas utilizadas proporcionan una visión del dominio que los estudiantes tienen sobre los temas evaluados, no abarcan todos los aspectos del aprendizaje. Esto propicia la necesidad de complementar estos instrumentos con otros, tales como entrevistas u observaciones directas.

Finalmente, para subsanar estas limitaciones en investigaciones futuras, se proponen las siguientes mejoras:

- Ampliar en el tiempo de la intervención para evaluar el impacto del ChatBot a largo plazo.
- Incluir mayor diversidad de temas de cálculo en el ChatBot, permitiendo una evaluación más integral del aprendizaje obtenido.
- Incrementar el tamaño de la muestra incluyendo más grupos, planteles y turnos. Esto permitiría analizar resultados en diferentes contextos.
- Implementar grupos de control, con el fin de contrastar resultados obtenidos con mayor precisión.
- Considerar otros instrumentos de recolección de datos como entrevistas, para obtener una visión más amplia del impacto del ChatBot.

En resumen, estas limitaciones abren oportunidades para mejorar y ampliar las investigaciones en el uso de la tecnología en el aula, en específico de los asistentes basados en IAG para la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

Capítulo V: Resultados

5.1 Introducción

En este capítulo se presentan los hallazgos derivados del análisis de los datos obtenidos tras la implementación del ChatBot como herramienta de apoyo para la enseñanza y aprendizaje del tema de límites matemáticos. Se adopta un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) con la intención de realizar un análisis integral de la experiencia desarrollada por los estudiantes, a través de la interacción de esta herramienta tecnológica. Este enfoque pretende integrar evidencias complementarias y dar respuesta a los objetivos y preguntas planteadas en esta investigación.

Para dar contexto, el objetivo general de esta investigación consiste en evaluar el impacto de la implementación del ChatBot basado en IAG, en la enseñanza y aprendizaje de límites matemáticos, considerando el rendimiento académico y la percepción de los estudiantes. Dentro de los objetivos específicos se encuentran: realizar un diagnóstico inicial del dominio de los límites matemáticos (pretest), determinar la percepción de los estudiantes con el uso de esta herramienta, identificar los efectos en la enseñanza y aprendizaje considerando la percepción y en su rendimiento académico y, por último, analizar las diferencias en los tres grupos de estudiantes de bajo, medio y alto rendimiento. Tanto el objetivo general como los específicos se abordan desde la perspectiva cuantitativa y cualitativa.

Se inicia con la descripción de algunas situaciones que se presentaron durante la implementación del ChatBot. Posteriormente se procede al desarrollo del análisis cuantitativo, presentando datos demográficos de los participantes. Como parte del análisis se

presentan los resultados obtenidos en el pretest, postest y en el instrumento de aceptación tecnológica (TAM ++). Para este fin se utiliza el software *JAMOV* en su versión 2.6.17 y *JASP* en su versión 0.19.3. Inicialmente se realizan las pruebas de normalidad Shapiro-Wilk, seguidamente se realizó una prueba de Wilcoxon en el pretest y postest. Posteriormente, se procede con una prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias significativas entre los tres grupos de estudiantes. Para complementar este análisis se incluye un análisis de cajas (*boxplots*) para una mejor visualización de los resultados obtenidos. Posteriormente se realiza un análisis individual tanto del pretest como del postest.

A continuación, se revisan las correlaciones entre los constructos, los datos descriptivos por pregunta y constructo del TAM ampliado. Se analiza si existen diferencias entre los grupos para el mismo cuestionario. Esta revisión pretende determinar si el uso del ChatBot tuvo un impacto medible en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

Posterior a esta etapa, se desarrolla el análisis cualitativo, iniciando con una descripción de las consideraciones para la generación de categorías, subcategorías y códigos en la clasificación de las respuestas de los estudiantes. El software utilizado para este análisis fue el *MaxQDA* 2020 en su versión 20.2.1. Se inicia con una presentación del número de estudiantes y menciones que hacen referencia a cada código establecido. Posteriormente se realiza una comparativa de códigos entre los tres grupos de rendimiento académico (bajo, medio y alto).

Se continúa generando una nube de palabras con la intención de contar con un panorama general de los conceptos más mencionados por los estudiantes. Esto permite la generación de diversas tablas con citas textuales para el análisis de las teorías y objetivos enmarcados en la presente investigación. Dentro de este análisis se buscaron elementos

fundamentales de las teorías constructivista, cognitivista, conectivista y del modelo TPACK. Igualmente, se realiza un análisis de las percepciones sobre el uso del ChatBot como apoyo para la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. Donde se considera pertinente, se incluye una visualización jerárquica de las categorías, subcategorías y códigos, buscando una presentación adecuada de los hallazgos encontrados.

El pretest se realizó el 24 de octubre de 2024, los tres días de la implementación del ChatBot del 24 al 26 de noviembre y el postest el día 27 del mismo mes. A continuación, se desarrollan las situaciones relevantes presentadas durante las sesiones de la implementación del ChatBot para el estudio de límites matemáticos.

5.2 Observaciones de implementación y uso del ChatBot

En este apartado se presentan las situaciones relevantes observadas durante la implementación y uso del ChatBot. Es pertinente recordar que se desarrollaron tres sesiones de una hora en la que participaron los 31 estudiantes utilizando su teléfono celular para dicha interacción. Estas sesiones se desarrollaron en un aula específica para esta actividad. En la Figura 14 se puede observar una fotografía de la etapa de implementación del asistente.

Figura 14

Implementación del ChatBot en el aula del bachillerato de Ciencias Físico Matemáticas



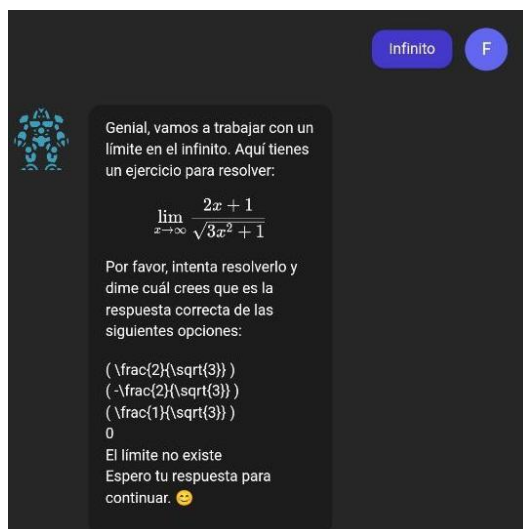
Nota. Fotografía tomada durante la implementación del ChatBot (fase de acción, 2024).

5.2.1 Aspectos técnicos observados

Durante la interacción de los estudiantes con el asistente, cinco comentaron que algunos ejercicios y respuestas aparecían escritos en código Latex (código para escritura de ecuaciones). Este problema se detectó desde el desarrollo del ChatBot y si bien se bajó considerablemente su aparición, estuvo presente en la implementación. Para superar este inconveniente, se dio una explicación básica de los códigos más comunes en Latex para su interpretación. Como referencia, en la Figura 15 se muestra una captura de pantalla del ChatBot en la fase de planeación, presentando las posibles respuestas en código Latex.

Figura 15

Escritura en código Latex durante el desarrollo del ChatBot



Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla del ChatBot en la fase de planeación.

Otro de los aspectos técnicos reportados por cuatro alumnos, fue el hecho de que seleccionaban la respuesta correcta y el asistente les indicaba que no lo era. Posteriormente, el ChatBot resolvía el ejercicio y llegaba a la respuesta que los estudiantes habían indicado desde un inicio. Nuevamente, fue una incidencia ya conocida y reportada por un número reducido de estudiantes. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de interacción de los alumnos

con el ChatBot. En el estado del arte se mencionó en diversos estudios las alucinaciones que puede sufrir la IAG, hecho que se les explicó a los participantes de esta investigación antes de su implementación. También es pertinente recordar que Sarrazola (2023) menciona que, el conocimiento de estos errores fomenta un pensamiento crítico por parte de los estudiantes, ya que tienen que asegurarse de la veracidad de las respuestas del ChatBot en este caso.

Figura 16

Interacción de estudiantes con el ChatBot durante la intervención



Nota. Fotografía tomada durante la implementación del ChatBot (fase de acción, 2024).

A lo largo de las tres sesiones, alrededor del 40% de los estudiantes mencionaron que después de un uso de 25 minutos del asistente, comenzó a mostrarles el aviso de que ya había hecho demasiadas interacciones con él. Si bien se estaba utilizando una cuenta de paga de *OpenIA*, se reportó ese hecho. Después de un descanso de entre 7 y 10 minutos, los alumnos pudieron seguir interactuando con el ChatBot hasta completar la sesión de una hora que estaba programada.

5.2.2 Formas de uso por parte de los estudiantes

De las formas de uso detectadas durante las sesiones de implementación, un total de cinco estudiantes mencionaron que interactuaron con el asistente por la tarde en sus casas.

En el día previo al postest, un total de 21 estudiantes reportaron haber utilizado el ChatBot para prepararse para la evaluación. Y en horas previas a la aplicación del postest, un total de 10 alumnos reportaron haber interactuado con el asistente. En la Figura 17 se puede observar una imagen de la aplicación del postest. Posterior a esta etapa de la investigación, algunos estudiantes no alcanzaron los conocimientos necesarios para aprobar la materia.

Figura 17

Aplicación del postest tras la implementación del ChatBot



Nota. Fotografía tomada durante la implementación del ChatBot (fase de acción, 2024).

Estos estudiantes continuaron con las etapas posteriores para aprobar la asignatura (examen ordinario, extraordinario y a título de suficiencia). En la base de datos del ChatBot se registró interacción días previos a los exámenes ya mencionados. Si bien el ChatBot se entrenó para el tema de límites matemáticos, previo a los exámenes posteriores, le estuvieron preguntando temas como desigualdades y derivadas.

Este hecho indica que los estudiantes vieron utilidad en el asistente y como lo comentaron en los instrumentos de recolección de datos, que se abordarán más adelante, a

un número importante de ellos les gustaría que el ChatBot este optimizado para otros temas matemáticos. Un alumno que tiene capacidades sobresalientes en esta asignatura comentó que la clasificación por niveles de los ejercicios era una opción muy interesante, y él directamente le estuvo pidiendo ejercicios de nivel avanzado al asistente. Se pudo observar que los ejercicios que se le proponían a dicho estudiante, le representaron un reto, motivándolo a seguir practicando. En la Figura 18 se puede observar un ejemplo de la petición de ejercicios por nivel de dificultad al interactuar con el asistente.

Figura 18

Petición de ejercicios por nivel de dificultad

dame uno de nivel avanzado

¡Esooo! 🍷 Me encanta que quieras retarte con un **ejercicio avanzado de límites por cancelación**. Vamos con uno sacado directamente del banco de ejercicios que tengo para ti 📁 📄

✅ **Ejercicio de límite por cancelación (Nivel avanzado)**

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{2+x} - \frac{1}{2}}{x}$$

A) $-\frac{1}{4}$
 B) $-\frac{1}{2}$
 C) 0
 D) $\frac{1}{2}$
 E) El límite no existe

💡 Pista: Aquí necesitas **usar álgebra fraccionaria** para simplificar el numerador antes de cancelar con x .

Tómate tu tiempo. ¿Cuál crees que es la respuesta correcta? 🍷

Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla del ChatBot desarrollado para la investigación.

Durante el semestre, este alumno resolvía pocos ejercicios y posteriormente se detraía. Como se observó, mediante el ChatBot pudo tener una serie de retos consecutivos que le permitieron mantenerse en la actividad. Esto muestra varios conceptos relevantes del

marco teórico, como lo es el aprendizaje personalizado, la función de la herramienta como andamiaje y apoyo temporal para transitar a la zona de desarrollo próximo.

5.2.3 Limitaciones detectadas en la interacción

Si bien la mayoría de limitaciones que se detectaron durante las sesiones de implementación ya se mencionaron, en este apartado se conjuntan para una presentación de la información con mayor organización. Dentro de ellas está el hecho de que el ChatBot presentó las ecuaciones en forma de código Latex. Otra de ellas fue el bloqueo de la interacción después de un determinado tiempo de uso del asistente. Uno de los estudiantes subió una foto de un ejercicio y en ese momento, el asistente no logró interpretar la imagen.

Los LLM están en constante actualización por parte de las empresas que los ofertan al público en general. A seis meses de la implementación de este trabajo, la mayoría de estas problemáticas prácticamente ya no se presentan. Ya no aparecen las ecuaciones escritas en Latex al interactuar con el ChatBot, las imágenes las lee sin problema y las equivocaciones al resolver ejercicios matemáticos son escasas. Es una tecnología que sigue avanzando rápidamente y con el apoyo de teorías adecuadas, se puede convertir en una herramienta interesante para su uso en la enseñanza y aprendizaje, no solo de las matemáticas, sino de otras disciplinas del conocimiento.

A continuación, se desarrolla el análisis cuantitativo comenzando con los datos demográficos de los estudiantes, seguido de las pruebas estadísticas aplicadas y su interpretación.

5.3 Resultados Cuantitativos

Como inicio del análisis cuantitativo, en la Tabla 10 se presentan los datos demográficos de los 31 estudiantes participantes. En términos de género, se observa una ligera mayoría de hombres (58.1%). La edad promedio de los participantes es de 17.2 años. Sobre el uso de la tecnología, cerca del 94% considera que tiene habilidades para la interacción y manejo de herramientas digitales. Respecto a los hábitos de estudio, el 67.7% afirma estudiar matemáticas mediante un enfoque mixto esto es, combinando recursos tradicionales como apuntes, con herramientas digitales. Finalmente, cerca de la mitad de los participantes (45.2%) considera tener una situación económica desfavorable, lo cual puede tener implicaciones en su acceso a tecnologías y resultar relevante para este estudio.

Tabla 10

Datos demográficos

		Frecuencia	Porcentaje
Género	Femenino	13	41.9%
	Masculino	18	58.1%
Edad	16	1	3.2%
	17	24	77.4%
	18	5	16.1%
	19	1	3.2%
¿Qué tan hábil te consideras utilizando tecnología?	Nada hábil	0	0.0%
	Poco hábil	2	6.5%
	Normal	14	45.2%
	Hábil	13	41.9%
	Muy hábil	2	6.5%
¿Cómo sueles estudiar matemáticas?	Tradicional	6	19.4%
	Digital	4	12.9%
	Mixta	21	67.7%
¿Cómo consideras tu situación económica?	Muy mala	0	0.0%
	Mala	2	6.5%
	Regular	12	38.7%
	Buena	15	48.4%
	Muy buena	2	6.5%

5.3.1 Pruebas de normalidad

Las pruebas de normalidad sirven, como su nombre lo indica, para conocer si la distribución de los datos tiene un comportamiento normal o no. De esta manera se sabe si es necesario utilizar un análisis paramétrico (distribución normal) o no paramétrico. Romero (2016) propone que, para muestras menores o iguales a 50 datos, se utilice la prueba de Shapiro-Wilk y para muestras mayores a 50 datos utilizar la Kolmogorov-Smirnov. Para este trabajo, dado que la muestra es de 31 estudiantes, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. En la Tabla 11 se muestran los valores p obtenidos en *JAMOV* para el pretest, posttest y cada constructo del instrumento TAM ampliado.

Tabla 11

Pruebas de normalidad para el pretest, posttest e instrumento TAM ampliado

Constructo	p	Normalidad
Facilidad de uso	0.513	Si
Percepción de utilidad	0.160	Si
Actitud hacia el uso	0.008	No
Intención de uso	<0.001	No
Experiencia de uso	0.123	Si
Rendimiento académico	0.31	Si
Pretest	0.007	No
Posttest	0.001	No

Si el valor p es mayor a 0.05 se considera que los datos tienen una distribución normal y si es menor que 0.05 los datos no tienen un comportamiento normal. En la Tabla 11 se puede observar que 4 de los 6 constructos del instrumento TAM ampliado tiene un comportamiento normal y que, tanto el pretest como posttest no siguen este patrón, es decir, la mitad de constructos tiene comportamiento normal y la otra mitad no. Por este motivo se decidió aplicar pruebas no paramétricas dentro del análisis estadístico.

5.3.2 Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas

Después de realizar las pruebas de normalidad y definir el uso de pruebas no paramétricas para el análisis, se procedió al análisis comparativo entre las puntuaciones del pretest como del posttest. Se recuerda que en el pretest como en el posttest, los estudiantes resolvieron un total de 8 ejercicios, 2 de cada tema y con una diferencia de un mes entre ambas pruebas. En la Tabla 12 se muestran los valores descriptivos obtenidos. Se observa un incremento de 1.41 en la media aritmética (de 5.44 a 6.85), lo que indica una mejora en el desempeño académico. Por su parte la mediana tuvo un aumento de 1.2 puntos (de 6.30 a 7.50), indicando que la mitad de los estudiantes obtuvo una calificación mayor o igual a 7.5. También la desviación estándar tiene una ligera disminución (de 3.23 a 2.94), indicando una menor dispersión en el posttest alrededor de la tendencia central.

Tabla 12

Datos descriptivos del pretest y posttest

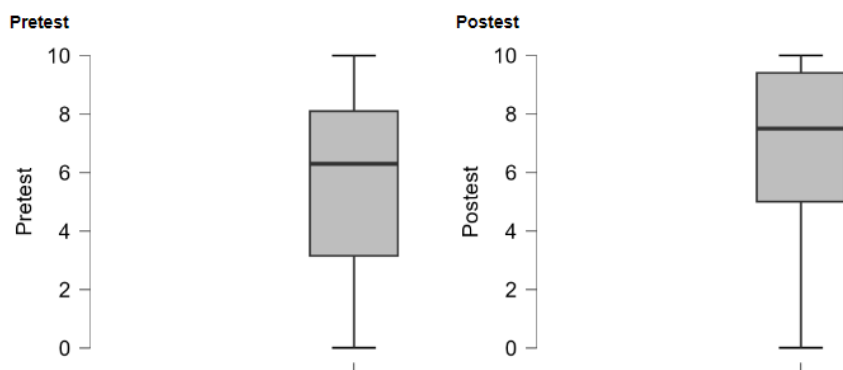
	Media	Mediana	Desviación Estándar
Pretest	5.44	6.30	3.23
Posttest	6.85	7.50	2.94

Para visualizar de mejor manera los cambios entre el pretest y posttest se generó un diagrama de cajas o *boxplots*. En la Figura 19 se puede observar el desplazamiento vertical positivo (hacia arriba) de la caja en el posttest respecto al pretest, coherente con el aumento de la mediana; lo que indica una mejora de forma general en las calificaciones de los estudiantes. De forma similar, la caja del posttest tiene una altura menor indicando que las calificaciones están menos dispersas, es decir, más concentradas alrededor de la mediana (línea horizontal dentro de cada caja). La menor altura de la caja del posttest sugiere menor

variabilidad intercuartílica. Los bigotes representan la extensión de los datos que están fuera del rango intercuartílico; por sí solos no permiten inferir qué estudiantes no cambiaron entre pruebas. Por lo anterior, se realiza la prueba de Wilcoxon (no paramétrica) para muestras relacionadas, a fin de determinar si hubo diferencias significativas entre ambas pruebas.

Figura 19

Boxplots o diagrama de caja del pretest y postest



Nota. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el pretest y postest.

La Tabla 13 muestra los resultados de la prueba de Wilcoxon. Considerando los pares válidos (n pareado = 31; tras excluir diferencias nulas), se obtuvo $W=24.5$, $z=-3.952$ y $p<.001$, indicando unas diferencias estadísticamente significativas entre pretest y postest. La correlación de rango biserial fue de -0.870 ; el signo negativo obedece a la codificación (postest > pretest), pero el dato informativo es su magnitud absoluta ($|r_{rb}| = 0.870$), que representa un efecto muy grande. Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta prueba indican que el ChatBot puede ser una herramienta efectiva como apoyo en la mejora de la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos.

Tabla 13*Prueba de Wilcoxon en el pretest y posttest*

Medida 1	Medida 2	W	z	Valor <i>p</i>	Correlación de rango-biserial
Pretest	Posttest	24.500	-3.952	<0.001	-0.870

5.3.3 Análisis por grupos de rendimiento

El cuarto objetivo específico de esta investigación, consiste en evaluar el efecto del ChatBot (comportamiento de las puntuaciones en pretest y posttest) en los tres diferentes grupos definidos por su rendimiento académico: bajo, medio y alto. Continuando con el análisis del pretest y posttest, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar estadísticamente, si existen diferencias significativas entre los tres sectores. Además, se realizaron comparaciones post hoc de Dunn con ajuste de Holm-Bonferroni, que funge como criterio principal para interpretar los resultados y se reportan también los *p* Bonferroni de forma informativa. En la Tabla 14 se presentan los valores arrojados en dicha prueba, en el pretest se obtiene un valor *p* menor a 0.001 lo que indica que, en al menos dos sectores, existen diferencias significativas. El tamaño del efecto ($\varepsilon^2 = 0.805$) se considera muy grade, ya que el estándar es: grande para valores mayores a 0.14. Estos resultados están entre un índice de confianza del 95%.

Resultados globales (Kruskal–Wallis)

- Pretest: $H = 24.140$, $gl = 2$, $p < .001$; $\varepsilon^2 \approx 0.74$ (grande).
- Posttest: $H = 22.091$, $gl = 2$, $p < .001$; $\varepsilon^2 \approx 0.67$ (grande).

Estos tamaños de efecto (ϵ^2 de Kruskal–Wallis) se estiman mediante $\epsilon^2 = (H - k + 1)/(n - 1)$, con $k = 3$ grupos y $n = 31$. La magnitud grande confirma diferencias sustantivas entre grupos en ambos cortes.

Tabla 14

Prueba de Kruskal-Wallis y Post hoc para la comparación entre grupos de los constructos para el pretest y postest.

Constructo	Análisis Global (Kruskal-Wallis)	Comparaciones Post-Hoc (Dunn)	z	r_{rb}	p	p_{Bonf}	p_{Holm}	Interpretación
Pretest	H = 24.140, gl = 2, $p < 0.001$, $\epsilon^2 = 0.805$	Bajo - Medio	-2.777	0.945	0.005	0.016	0.011	Diferencia significativa moderada
		Medio - Alto	2.061	0.800	0.039	0.118	0.039	Diferencia significativa moderada
		Alto - Bajo	4.886	1.000	<0.001	<0.001	<0.001	Diferencia significativa alta
Postest	H = 22.091, gl = 2, $p < 0.001$, $\epsilon^2 = 0.736$	Bajo - Medio	-2.350	0.791	0.019	0.056	0.038	Reducción de diferencia moderada
		Medio - Alto	2.294	0.810	0.022	0.065	0.038	Reducción de diferencia moderada
		Alto - Bajo	4.698	0.991	<0.001	<0.001	<0.001	Reducción de diferencia baja

Se obtienen valores similares para el postest en la prueba Kruskal-Wallis. Un valor p menor a 0.001, tamaño del efecto grande ($\epsilon^2 = 0.736$) y, aunque ligeramente menor que el pretest, se mantiene el índice de confianza del 95%. Estos datos indican que, las diferencias entre grupos se mantuvieron después de la intervención con el ChatBot, lo cual era esperable ya que era complicado que el uso del asistente homogeneizara los conocimientos en los estudiantes en los tres sectores. Con la intención de determinar entre qué grupos se presentan las diferencias arrojadas en la prueba de Kruskal-Wallis y determinar si el uso del ChatBot

tuvo un efecto entre los diferentes grupos, se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Post-Hoc de Dunn, la cual se incluye en la misma Tabla 14.

Sobre la prueba Post-Hoc de Dunn, en el caso del pretest para la comparación entre el grupo bajo y medio, el primero está claramente por debajo del segundo ($p=0.005$, $p_{\text{Bonf}} = 0.016$ y $p_{\text{Holm}} = 0.011$). Respecto al sector medio con el alto, existen diferencias significativas pero menores ($p_{\text{Bonf}} = 0.118$) que la comparación bajo-medio. En relación del grupo bajo con el alto, representa la brecha más grande y evidente ($p<0.001$ en todos los ajustes).

En el caso de la prueba Post-Hoc para el posttest, en el análisis del grupo bajo y medio, existen diferencias significativas ($p=0.019$, $p_{\text{Holm}} = 0.038$). Sin embargo, el valor de $p_{\text{Bonf}} = 0.056$ tiene un incremento a considerar, es decir, la brecha entre el sector bajo y medio se redujo. Esta reducción indica que los estudiantes con más dificultades iniciales, lograron acercarse al rendimiento de los de nivel medio, lo que sugiere que el ChatBot fue beneficioso para este sector (bajo). Respecto a los sectores medio y alto, los valores son similares al pretest ($p=0.022$, $p_{\text{Holm}} = 0.038$ y $p_{\text{Bonf}} = 0.065$) con una ligera reducción de las diferencias. Y para el caso de los grupos bajo y alto, se mantiene las diferencias significativas ($p<0.001$ en todo), aunque una pequeña reducción en la brecha.

Con la intención de aportar más elementos para comprender el comportamiento del rendimiento académico entre los tres grupos, se procedió a un análisis más profundo de ambas pruebas. En la Tabla 15 se muestra un análisis estadístico de cada grupo.

Tabla 15*Estadísticos por grupo de rendimiento del pretest y postest*

	Pretest			Postest		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Media	1.84	6.15	8.70	3.80	7.58	9.46
Mediana	2.50	6.30	8.80	3.80	7.50	9.40
Desviación estándar	1.63	1.78	0.64	2.49	1.49	0.34
Mínimo	0.00	3.80	8.10	0.00	4.40	8.80
Máximo	3.80	8.80	10.0	8.80	9.40	10.0

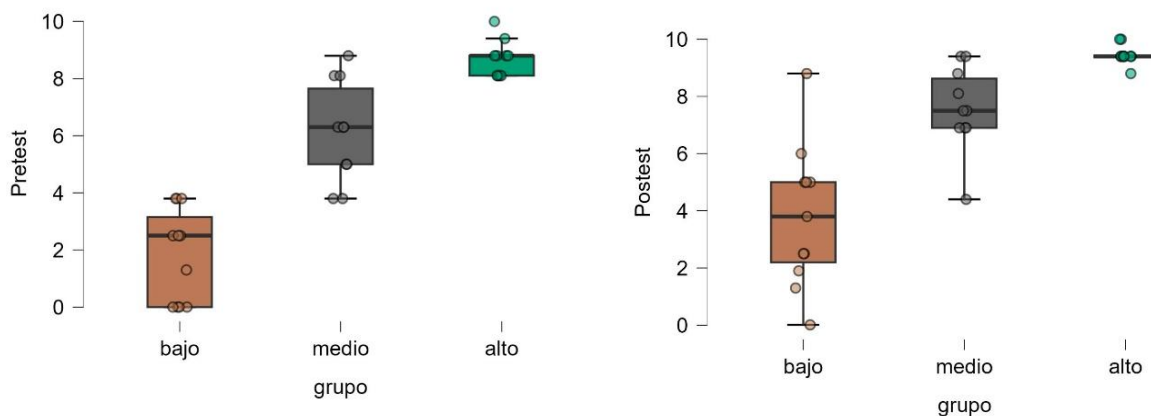
De los datos de la Tabla 15 se desprende que los tres grupos tuvieron un mejor desempeño en el postest. La mejora media es mayor en el grupo bajo (+1.96; $\approx +106.5\%$ respecto a su media inicial), seguida del medio (+1.43; $\approx +23.3\%$) y del alto (+0.76; $\approx +8.7\%$). En el grupo bajo se incrementa la desviación estándar en el postest, compatible con una mejora heterogénea (algunos estudiantes progresan mucho y otros poco); en medio y alto, la dispersión disminuye. El incremento en el grupo de bajo rendimiento sugiere que el ChatBot pudo tener un impacto especialmente positivo en los estudiantes con mayor dificultad inicial.

Este hecho está ligado con la hipótesis de esta investigación, ya que la herramienta permitió avances individuales importantes, aunque no de forma homogénea para todos los participantes. Como ejemplo de esta variabilidad, el valor mínimo para el sector bajo se mantuvo en 0.0 y el máximo pasó de 3.8 a 8.8, mostrando esta mejora significativa. En los grupos de medio y alto rendimiento, la desviación estándar se redujo y los valores mínimos, máximo y media tuvieron incrementos. Esto indica que el comportamiento de las calificaciones es más consistente, de manera general hubo una mejora en los estudiantes de

estos grupos. Para una visualización adecuada del comportamiento de los tres sectores en el pretest y en el postest, se procedió a generar un diagrama de cajas (Figura 20).

Figura 20

Diagramas de cajas de los tres grupos de rendimiento en el pretest y postest



Nota. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en pretest y postest por los tres grupos de rendimiento académico.

En el análisis de cajas de la Figura 20 se observa cómo, de manera general, los tres bloques subieron en el postest, es decir se aprecia un incremento de la mediana. De forma similar, se percibe como las tres cajas están más compactas, reduciendo la dispersión de las calificaciones, lo que implica una mayor homogeneidad interna en los puntajes después de la intervención. Sin embargo, se percibe que, en el caso del grupo de bajo rendimiento, los bigotes (líneas fuera de la caja), se incrementaron considerablemente. Como ya se mencionó en la interpretación de la Tabla 15, esto se explica porque hubo estudiantes que mejoraron considerablemente y otros que no lo hicieron. Si bien, en el caso del grupo alto, se percibe como las calificaciones están más concentradas en torno al 9, aparentemente los sectores medio y bajo tienen mayor avance después de la intervención del ChatBot.

En conjunto, el análisis del pretest y postest muestran que el uso del ChatBot no eliminó completamente las diferencias entre los grupos, pero sí contribuyó a una reducción

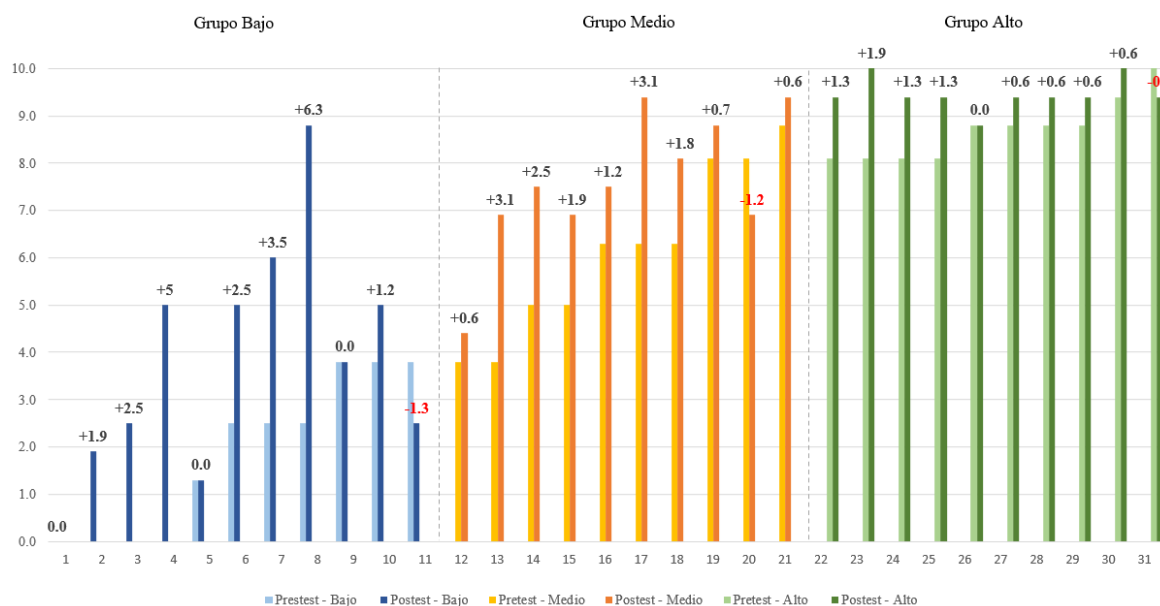
parcial entre ellos, especialmente entre los sectores bajo y medio. Esto sugiere que el asistente tuvo un impacto positivo mayor en estudiantes con bajo rendimiento inicial, lo que apunta a que este tipo de herramientas pudiera ser una estrategia plausible para atender rezagos académicos en el aprendizaje de límites matemáticos. Con la idea de intentar comprender de mejor manera el impacto del asistente en el desempeño académico de los estudiantes, se procedió a realizar un análisis individual más detallado.

5.3.4 Análisis individual

Las pruebas estadísticas anteriores han mostrado que la intervención del ChatBot mejoró tanto las métricas globales del grupo, como las de los tres diferentes sectores de estudiantes (rendimiento bajo, medio y alto). No obstante, ya se mencionó que el efecto del asistente en cada estudiante no fue homogéneo. Por este motivo, se realizó una comparación individual de los resultados obtenidos tanto en el pretest como en el posttest, para identificar los cambios en cada alumno. En la Figura 21 se presentan las calificaciones obtenidas por cada estudiante en ambas pruebas, organizadas por grupo de rendimiento.

Figura 21

Comparación de calificaciones en pretest y posttest por estudiante y grupo de rendimiento



Nota. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en pretest y posttest por los tres grupos de rendimiento académico.

Con la intención de presentar de mejor manera la información, el gráfico de la Figura 21 se ordenó de menor a mayor tomando las calificaciones obtenidas en el pretest y considerando el grupo al que pertenecen (rendimiento bajo, medio y alto). Sobre los patrones observados en el grupo de bajo rendimiento, se aprecia un incremento considerable en la mayoría de los estudiantes, siendo el más alto de 6.3 puntos, indicando un avance significativo. Solamente un alumno presentó un descenso en su calificación (-1.3) y otro mantuvo el mismo puntaje (estudiante #1).

Respecto al grupo medio, la mayoría presentó mejoras moderadas (entre +0.6 y +3.1 puntos), mientras que un estudiante tuvo una disminución de 0.7 puntos. El comportamiento de las calificaciones entre ambas pruebas para este grupo, pudiera sugerir una consolidación de conocimientos con la intervención del ChatBot. Por su parte, el grupo de alto rendimiento presentó ligeras mejoras (entre +0.6 y +1.9 puntos), esto debido a que el margen de avance

para este sector era menor desde un inicio. Igualmente, un alumno no presenta cambios y otro, un descenso de 0.6 puntos.

De manera general, la Figura 21 muestra claramente la tendencia de mejora en todos los estudiantes. También indica un mayor impacto del ChatBot en estudiantes del grupo de bajo rendimiento, seguidos por el intermedio y en grado menor, en el alto. Los datos sugieren que la herramienta fue especialmente útil para reducir la brecha entre estudiantes con dificultades iniciales y los de mayor rendimiento. Un punto mencionado en varios análisis hasta ahora es la variabilidad de las mejoras, esto sugiere que, factores individuales pueden influir en los resultados obtenidos en las diferentes pruebas.

5.3.5 *Análisis de correlación*

Posterior a la revisión del pretest y postest, se procedió a analizar las percepciones de los estudiantes sobre el uso del ChatBot. El instrumento utilizado fue el modelo ampliado de aceptación tecnológica (TAM ampliado). Contextualizando, este instrumento se aplicó abordando seis constructos (percepción de facilidad de uso, de utilidad, actitud hacia el uso, intención de uso, experiencia de uso e impacto en el rendimiento académico). El cuestionario fue validado en una prueba piloto con 16 estudiantes, obteniendo un alfa de Cronbach de 0.87 lo que representa una confiabilidad muy buena. Posteriormente se realizó un análisis de correlaciones entre constructos, para determinar si las percepciones sobre el asistente se relacionaban entre sí. Dado que se tienen secciones que siguen un comportamiento normal y otros que no (Tabla 11), se optó por la prueba no paramétrica de correlaciones de Spearman (Tabla 16).

Tabla 16*Correlaciones entre constructos del TAM ampliado*

	2. Percepción de utilidad.	3. Actitud hacia el uso.	4. Intención de uso.	5. Experiencia de uso.	6. Impacto en el rendimiento académico.
1. Percepción de facilidad de uso.	$\rho = 0.629$ $p < 0.001$	$\rho = 0.380$ $p = 0.035$	$\rho = 0.675$ $p < 0.001$	$\rho = 0.610$ $p < 0.001$	$\rho = 0.365$ $p = 0.044$
2. Percepción de utilidad.		$\rho = 0.499$ $p = 0.004$	$\rho = 0.625$ $p < 0.001$	$\rho = 0.633$ $p < 0.001$	$\rho = 0.284$ $p = 0.122$
3. Actitud hacia el uso.			$\rho = 0.589$ $p < 0.001$	$\rho = 0.562$ $p = 0.001$	$\rho = 0.337$ $p = 0.064$
4. Intención de uso.				$\rho = 0.588$ $p < 0.001$	$\rho = 0.519$ $p = 0.003$
5. Experiencia de uso.					$\rho = 0.403$ $p = 0.025$

De manera general, en la Tabla 16 se puede observar que todos los constructos presentan correlaciones positivas moderadas o fuertes entre sí. Dentro de los sectores que presentan conexiones fuertes se encuentran: percepción de facilidad de uso con intención de uso ($\rho = 0.675, p < 0.001$), experiencia de uso con utilidad ($\rho = 0.633, p < 0.001$), utilidad con facilidad de uso ($\rho = 0.629, p < 0.001$), intención de uso con utilidad ($\rho = 0.625, p < 0.001$) y experiencia de uso con facilidad de uso ($\rho = 0.610, p < 0.001$). Estas correlaciones indican que, si los estudiantes perciben al ChatBot como fácil de usar y útil, aumenta su experiencia positiva, su actitud y su intención de utilizarlo.

No obstante, los estudiantes no consideraron que la mejora en su rendimiento académico estuviera relacionada con la experiencia de uso del ChatBot. Para profundizar sobre este hecho, en la Tabla 17 se muestra un análisis de correlaciones entre los diferentes

constructos del TAM ampliado con el pretest, posttest y la diferencia entre estas dos últimas pruebas (diferencia entre el posttest y el pretest).

Tabla 17

Correlaciones de Spearman entre TAM ampliado, calificaciones y mejora

Constructo	Pretest	Posttest	Diferencia (Post - Pre)
Percepción de facilidad de uso	$\rho = 0.174$ $p = 0.348$	$\rho = 0.249$ $p = 0.176$	$\rho = 0.051$ $p = 0.786$
Percepción de utilidad	$\rho = 0.247$ $p = 0.181$	$\rho = 0.331$ $p = 0.069$	$\rho = 0.147$ $p = 0.431$
Actitud hacia el uso	$\rho = 0.196$ $p = 0.290$	$\rho = 0.293$ $p = 0.110$	$\rho = 0.160$ $p = 0.390$
Intención de uso	$\rho = 0.119$ $p = 0.524$	$\rho = 0.245$ $p = 0.183$	$\rho = 0.219$ $p = 0.237$
Experiencia de uso	$\rho = 0.349$ $p = 0.054$	$\rho = 0.311$ $p = 0.083$	$\rho = -0.177$ $p = 0.341$
Impacto en el rendimiento académico	$\rho = 0.025$ $p = 0.896$	$\rho = 0.134$ $p = 0.474$	$\rho = 0.165$ $p = 0.375$
Pretest		$\rho = 0.857$ $p < 0.001$	$\rho = -0.420$ $p = 0.019$
Posttest			$\rho = 0.030$ $p = 0.871$

De los datos presentados en la Tabla 17 se observa que ningún constructo del TAM ampliado se correlaciona significativamente con el pretest, posttest y diferencia (todos los valores p son mayores a 0.05). No obstante, el pretest y posttest están fuertemente correlacionados ($\rho = 0.857, p < 0.001$), lo cual resulta esperable ya que ambas pruebas miden el rendimiento en la misma temática. Un valor que llama la atención es la correlación negativa significativa ($\rho = -0.420, p = 0.019$) entre el pretest y la diferencia (mejora), esto indica que los estudiantes con menor puntuación inicial fueron los que tuvieron una mayor mejora en calificación, independientemente de su valoración del ChatBot.

5.3.6 Descriptivos por ítem del TAM ampliado

Si bien, el análisis de correlaciones permitió analizar las relaciones generales entre los constructos del modelo TAM ampliado y el rendimiento académico, se consideró relevante examinar la valoración específica que los estudiantes otorgaron a cada ítem del

cuestionario (Tabla 18). Esto se hizo con la intención de detectar las fortalezas y áreas de mejora percibidas en el uso del ChatBot. Contextualizando, el instrumento tuvo una escala Likert de 1 a 5, siendo el más bajo para totalmente en desacuerdo y el mayor para totalmente de acuerdo.

Tabla 18

Valoraciones por ítem del TAM ampliado

Ítem	Media Aritmética	Desviación Estándar
1. Resultó fácil aprender a utilizar el ChatBot	4.3	0.68
2. El ChatBot es fácil de usar.	4.3	0.70
3. Es fácil obtener la información que quiero del ChatBot.	3.8	0.82
4. La interacción con el ChatBot es clara y comprensible.	3.6	0.71
5. El ChatBot me ayuda a aprender mejor los conceptos de límites (sustitución, cancelación, racionalización, infinito).	4.0	0.75
6. El uso del ChatBot ha mejorado mi comprensión de los problemas de límites.	3.6	0.71
7. El ChatBot me permite resolver mis dudas de manera rápida y eficiente.	3.9	0.81
8. Creo que el ChatBot es útil como complemento en mi proceso de aprendizaje.	4.5	0.57
9. Utilizar el ChatBot para el aprendizaje de límites es una buena idea.	4.3	0.83
10. Tengo una opinión positiva sobre el uso del ChatBot para el aprendizaje de límites.	4.4	0.62
11. Me gusta la idea de utilizar el ChatBot para aprender límites.	4.3	0.70
12. Si están disponibles, planeo seguir utilizando los ChatBot para estudiar temas de matemáticas en el futuro.	4.5	0.63
13. Recomendaría el uso del ChatBot a mis compañeros para practicar ejercicios de matemáticas.	4.4	0.72
14. Me gustaría que otros conceptos de matemáticas se enseñen utilizando un ChatBot similar.	4.7	0.59
15. El ChatBot responde rápidamente a mis preguntas sobre los conceptos de límites.	3.6	0.92
16. Me siento cómodo/a usando el ChatBot para resolver ejercicios de límites.	4.1	0.68
17. Creo que el ChatBot me permite aprender a mi propio ritmo.	4.4	0.72
18. Mi rendimiento académico en los temas de límites ha mejorado desde que empecé a usar el ChatBot.	3.4	0.50
19. Desde que uso el ChatBot, me siento más seguro/a al resolver ejercicios de límites por mi cuenta.	3.6	0.72
20. Desde que uso el ChatBot, dedico más tiempo al estudio de límites.	3.6	0.92
21. Considero que el uso del ChatBot me permitirá obtener mejores resultados en la evaluación.	4.1	0.72

Dentro de los datos relevantes de la Tabla 18 tenemos que, los ítems con menor valoración (puntuación entre 3.4 y 3.6), son aquellos relacionados con la percepción sobre el uso del ChatBot y el rendimiento académico. Sin embargo, varias de estas preguntas presentan una desviación estándar alta (cercana a 1), lo cual indica valoraciones diferentes por parte de los alumnos, exceptuando la pregunta 18 (desviación estándar de 0.5).

La pregunta menor valorada fue la relacionada con la mejora del rendimiento académico desde que se usa el asistente (media = 3.4). Este resultado no necesariamente implica que no haya existido una mejora real. Una posible explicación es que el periodo de intervención fue relativamente corto (tres días), lo cual limita la percepción de un cambio académico. Otro puede ser que, al momento de responder el cuestionario, los estudiantes no conocían los resultados del pretest y posttest. Es decir, no tenían una referencia de su progreso. Por último, es posible que la percepción del impacto académico se perciba de manera más clara, cuando los alumnos comparen sus aprendizajes en ejercicios y evaluaciones posteriores.

En los ítems con mejor valoración (4.5 - 4.7), está el que los alumnos perciben al asistente útil como complemento en el aprendizaje y que lo seguirían usando si está disponible con más temas matemáticos. La pregunta con mayor valoración fue, que les gustaría que otros temas matemáticos fueran abordados por el ChatBot (4.7). De los 21 ítems del instrumento, 13 fueron valorados arriba de 4 puntos (61.9%) y la media de todas las preguntas fue de 4.1 puntos. Esto indica que, de manera general, el asistente tiene una valoración positiva.

5.3.7 Descriptivos por constructo del TAM ampliado

Posterior a las valoraciones de cada ítem, se procedió a agruparlas en sus respectivos constructos del modelo TAM ampliado, esto con la intención de analizar las percepciones y tendencias generales (Tabla 19). Los 21 ítems del apartado del TAM ampliado se subdividen en seis constructos: percepción de facilidad de uso de la pregunta 1 a la 4, utilidad de la 5 a 8, actitud hacia el uso de la 9 a la 11, intención de uso de la 12 a la 14, experiencia de uso de la 15 a la 17 y rendimiento académico de la 18 a la 21.

Tabla 19

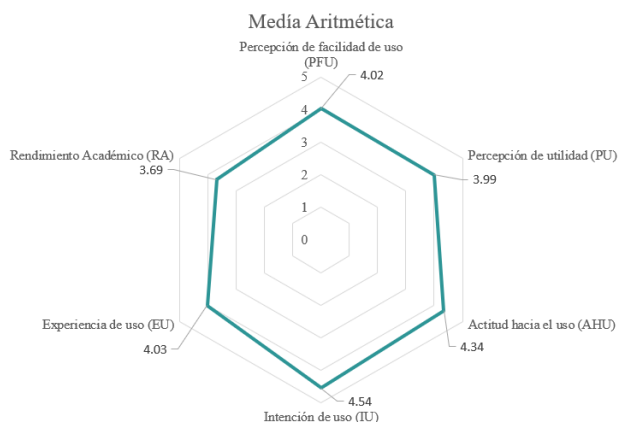
Valoraciones por constructo del TAM ampliado

Constructo	Medía Aritmética	Desviación Estándar
Percepción de facilidad de uso (PFU)	4.02	0.51
Percepción de utilidad (PU)	3.99	0.49
Actitud hacia el uso (AHU)	4.34	0.57
Intención de uso (IU)	4.54	0.46
Experiencia de uso (EU)	4.03	0.59
Rendimiento Académico (RA)	3.69	0.48

De los datos presentados en la Tabla 19 se puede observar lo percibido desde los análisis anteriores. La relación entre el uso del ChatBot y la mejora en el rendimiento académico es la menor valorada con 3.69, esto tiene un significado neutral – positivo. Ya que, para las afirmaciones del instrumento, el valor 3 corresponden a neutral y el 4 a estar de acuerdo, es decir, pudo ser que los alumnos no conocían el impacto que tendría el uso del asistente en el posttest. Que, como ya se indicó en el análisis de las pruebas, en la mayoría de los estudiantes fue positivo. En la Figura 22 se presenta una visualización de las medias aritméticas obtenidas por cada constructo.

Figura 22

Visualización de las valoraciones medias por constructo del TAM ampliado



Nota. Se observan las medias presentadas en la Tabla 19.

La intención de uso en un futuro es el constructo mayor valorado con 4.54 puntos. Los estudiantes indicaron que seguirían utilizando el ChatBot si estuviera disponible, recomendarían su uso a otros compañeros y les gustaría que otros conceptos matemáticos fueran abordados por el asistente. Retomando los hallazgos encontrados en la Tabla 16, la intención de uso mostró una fuerte correlación con prácticamente todos los sectores, es decir, que sea la más valorada implica que a los estudiantes se les facilitó su uso, le vieron utilidad y tuvieron una buena experiencia de uso. Resulta pertinente recordar lo mencionado en la sección de observaciones de implementación, en la que se mencionó que varios estudiantes continuaron utilizando el ChatBot para evaluaciones posteriores al posttest. De manera general, se puede concluir que los alumnos vieron en el asistente una posibilidad real para mejorar en el aprendizaje para temas matemáticos, más allá de los límites matemáticos.

5.3.8 Diferencia entre grupos del modelo TAM ampliado

Para completar el análisis del modelo TAM ampliado, se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Para determinar diferencias significativas en las

valoraciones de cada constructo, por parte de los tres grupos en los que se clasificó a los estudiantes (rendimiento bajo, medio y alto). En la Tabla 20 se puede observar que no existen diferencias significativas en las percepciones de los estudiantes sobre los constructos del TAM ampliado. Tanto el valor p (en todos los casos mucho mayor a 0.05) y el tamaño del efecto pequeño (ϵ^2 menor a 0.08) sugieren que las percepciones sobre el ChatBot fueron valoradas de manera similar por los tres grupos. Es decir, se refuerza la idea de que la intervención se percibió de forma similar, independientemente del nivel académico inicial de la investigación.

Tabla 20

Prueba de Kruskal-Wallis para la comparación entre grupos de los constructos del modelo TAM ampliado

Constructo	H (Chi-cuadrado)	gl	Valor p	ϵ^2 (Tamaño del efecto)	Interpretación
Facilidad de uso	1.703	2	0.427	0.057	No hay diferencias
Percepción de utilidad	1.101	2	0.577	0.037	No hay diferencias
Actitud hacia el uso	2.000	2	0.368	0.067	No hay diferencias
Intención de uso	1.678	2	0.432	0.056	No hay diferencias
Experiencia de uso	2.193	2	0.334	0.073	No hay diferencias
Rendimiento académico	0.379	2	0.827	0.013	No hay diferencias

Nota: Dado que ϵ^2 es menor a 0.01, se considera un tamaño del efecto insignificante.

Como se pudo observar en el análisis cuantitativo, el impacto del uso del ChatBot fue positivo y consistente en los resultados obtenidos en el postest por la mayoría de los estudiantes. En el impacto con los tres grupos de rendimiento, se resalta que el grupo de

menor rendimiento fue el mayor beneficiado, ya que fue el que obtuvo mejores resultados en la mayoría de los indicadores analizados en este apartado.

De manera general, los estudiantes valoraron positivamente el uso del ChatBot como apoyo para el aprendizaje de límites matemáticos, esto mediante el cuestionario de aceptación tecnológica TAM ampliado. El constructo con mayor valoración fue la intención de uso, lo que indica que la herramienta resultó útil. Este constructo mostró una correlación directa con los demás, lo que refuerza la idea de que la herramienta puede ser un excelente apoyo para el aprendizaje. No se encontraron diferencias significativas en la percepción del asistente por parte de los tres grupos de rendimiento académico.

Si bien los datos cuantitativos permiten observar tendencias y relaciones, no muestran las percepciones de la intervención. Es complicado detectar la presencia de ideas centrales de las teorías abordadas en el marco teórico. Por este motivo, el análisis cualitativo del cuestionario con preguntas abiertas, permitirá explorar las experiencias que los datos numéricos por si solos no pueden mostrar. El siguiente apartado, pretende ayudar a comprender cómo el ChatBot impactó en el aprendizaje y motivación de los estudiantes.

5.4 Resultados Cualitativos

Como se mencionó en el capítulo de metodología, aunado al análisis cuantitativo, se consideró relevante incorporar el enfoque cualitativo con el objetivo de explorar de manera profunda, las percepciones de los estudiantes sobre el uso del ChatBot como herramienta del aprendizaje de límites matemáticos. Esto con la intención de determinar elementos que los instrumentos con respuestas cerradas no pueden percibir, buscando caracterizar de mejor manera la implementación de la investigación. Es relevante recordar que esta investigación

se enmarca en el paradigma interpretativo (Schuster et al., 2013), mediante el cual se busca comprender los significados de los estudiantes durante su interacción con el ChatBot.

Este análisis se alinea con los objetivos específicos de este trabajo relacionados con las percepciones de los estudiantes y su experiencia con la herramienta implementada. Los datos obtenidos para este apartado se recabaron a partir de un cuestionario de preguntas abiertas aplicado al final de la implementación. Dentro de las principales temáticas abordadas están: los aspectos más útiles del ChatBot, posibles mejoras, cambios en la forma de comprender los límites matemáticos, aporte en su aprendizaje, si hubo algún tema en específico que pudieron mejorar al utilizar el asistente, cambios en la forma de repasar y sugerencias de mejora.

En el análisis de los datos se utilizó el software *MaxQDA* 2020 en su versión 20.2.1. Este programa permitió una organización adecuada de categorías mediante códigos de temáticas recurrentes en las respuestas de los estudiantes. También se realizó un análisis por grupos de rendimiento académico, frecuencias de código y correlaciones entre éstos últimos. El proceso de codificación fue principalmente deductivo ya que las categorías y subcategorías se definieron a partir de los objetivos de la investigación y del marco teórico (constructivismo, cognitivismo, conectivismo y TPACK).

Dentro de las respuestas de los estudiantes se buscó evidencia de temáticas como aprendizaje activo, procesos mentales, práctica guiada, andamiaje e integración de tecnología en el aprendizaje, ya que son los conceptos centrales de cada teoría mencionada. Se analizaron un total de 279 respuestas abiertas, que se obtuvieron de nueve preguntas contestadas por cada uno de los 31 estudiantes. La longitud media (número promedio de palabras por respuesta) fue de 11.3.

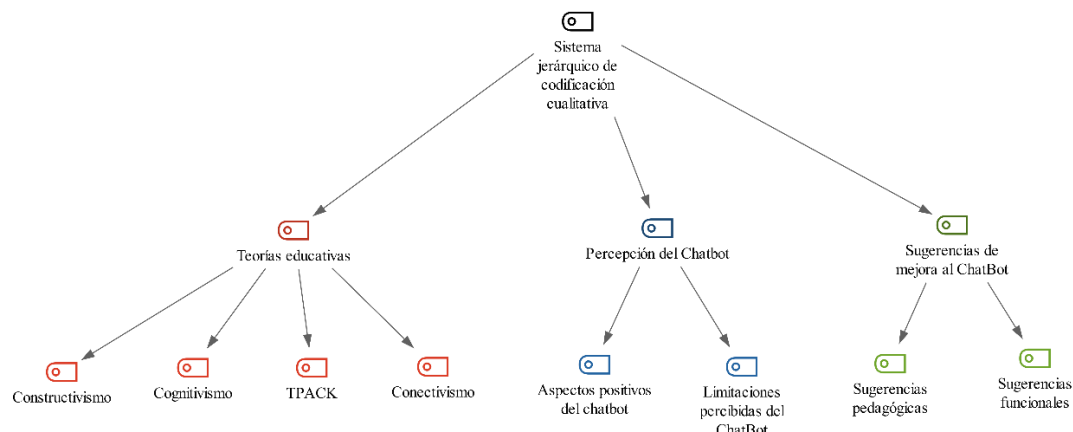
5.4.1 Sistema de codificación cualitativa

Para iniciar el análisis cualitativo se definieron tres categorías principales: teorías educativas, percepción de los estudiantes sobre el uso del ChatBot y sugerencias de mejora. La primera categoría se estableció para identificar la presencia de ideas relacionadas con las teorías mencionadas en el marco teórico. Esta categoría se relaciona directamente con el objetivo general de la investigación y con los objetivos específicos relacionados con el impacto del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. La segunda categoría se consideró ya que representa el objetivo específico que pretende comprender la percepción de los alumnos, respecto al uso de la herramienta tecnológica. Por último, la tercera categoría se incluyó con la intención de identificar elementos cualitativos, que permitan mejorar el diseño del ChatBot para implementaciones futuras.

A partir de la definición de las tres categorías principales, se identificaron ideas relevantes que permitieron establecer subcategorías y códigos dentro de cada categoría. En la Figura 23 se muestra la estructura jerárquica generada entre las categorías, subcategorías y códigos cualitativos dentro de los tres primeros niveles. Esta organización permitió representar de manera adecuada los datos recabados, facilitando su lectura y los hallazgos cualitativos encontrados.

Figura 23

Visualización del sistema jerárquico de codificación cualitativa



Nota. Corpus cualitativo descrito en Método; se muestran categorías con ≥ 2 menciones; elaborado en *MaxQDA* 2020 versión 20.2.1.

A su vez, esta organización permitió vincular los objetivos específicos del estudio con las teorías que se abordan en esta investigación. En la Tabla 21 se presentan las frecuencias de aparición y la distribución de los códigos cualitativos de esta estructura, incluyendo todas las categorías y códigos generados durante el análisis.

Tabla 21

Sistema de codificación por categorías y códigos

Categoría	Subcategoría	Código	No. de menciones	No. de estudiantes	% del total de estudiantes (N=31)
Teorías educativas	Constructivismo	Aprendizaje activo y significativo	35	25	80.6 %
		Práctica guiada	29	19	61.3 %
		Resolución de dudas como andamiaje	39	20	64.5 %
		Pensamiento crítico	4	4	12.9 %
	Cognitismo	Procesos mentales	27	18	58.1 %
		Error para el aprendizaje	8	6	19.4 %
	Conectivismo	Aprendizaje a su ritmo	11	9	29.0 %
	TPACK	Tecnología, Contenido, Pedagogía	59	24	77.4 %
		Mejoras en sustitución	1	1	3.2 %

Precepción del ChatBot	Mejoras en el aprendizaje	Mejoras en racionalización	17	16	51.6 %
		Mejoras en cancelación	20	14	45.2 %
		Mejoras en el infinito	5	5	16.1 %
		Diferentes niveles de dificultad	4	3	9.7 %
		Mayor práctica	10	9	29.0 %
		Comprobación de resultados	4	4	12.9 %
		Pedir ejercicios	3	3	9.7 %
		Puede hacer diagnósticos	3	3	9.7 %
		Mejora de aprendizaje de ejercicios avanzados	1	1	3.2 %
		Explicación detallada	28	18	58.1 %
	Experiencia del estudiante	Mayor seguridad en resolver ejercicios	5	4	12.9 %
		Limitaciones percibidas del ChatBot	1	1	3.2 %
	Sugerencias de mejora	Falta de dinamismo	1	1	3.2 %
		Mayor concreción	1	1	3.2 %
Sugerencias de mejora	Sugerencias funcionales	Subir fotos	1	1	3.2 %
		Que sea más rápido	8	7	22.6 %
	Sugerencias pedagógicas	Implementación con otros temas	8	8	25.8 %
		Implementar más tiempo	3	3	9.7 %
		Variedad de ejercicios	9	8	25.8 %
		Complementos visuales	1	1	3.2 %

En términos generales, en la Tabla 21 se observa que las respuestas de los estudiantes reflejan con mayor frecuencia, de manera indirecta, elementos asociados al constructivismo y el modelo TPACK. Estos identificados mediante el análisis de categorías. Esto resultados refleja la relevancia del aprendizaje activo y significativo (80.6%) y la integración de la tecnología en la experiencia reportada por los estudiantes (77.4%). Estos hallazgos sugieren que la mayoría de participantes logró una conexión entre sus conocimientos previos y los nuevos contenidos abordados con el ChatBot.

Los otros códigos que destacan por su número de menciones son: la resolución de dudas como andamiaje (64.5%) y la práctica guiada (61.3%), lo que sugiere que los

estudiantes percibieron al ChatBot como un apoyo temporal para transitar a su zona de desarrollo próximo. En la categoría del cognitivismo, el código de procesos mentales (58.1%) muestra que los alumnos asociaron el uso de la herramienta con acciones como aprender, pensar, recordar y comprender, mostrando procesos cognitivos activos.

Por otra parte, en la subcategoría de percepción de la experiencia, destaca la mención a la explicación detallada (58.1%), reflejando como ésta les permitió comprender con mayor claridad los límites matemáticos. En la Figura 24 se muestra un ejemplo de la explicación detallada por parte del asistente. Finalmente, estos resultados muestran elementos claros relacionados con el objetivo general de la investigación y los objetivos específicos de la misma, poniendo de manifiesto que el ChatBot no solo facilitó la comprensión y la práctica, sino que promovió procesos clave para el aprendizaje significativo integrando adecuadamente el uso de la tecnología.

Figura 24

Ejemplo de explicación detallada por parte del ChatBot al resolver un ejercicio

Ejemplo:

$$\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x^2 + 2x - 24}{x - 4}$$

♦ **Paso 1: Sustitución directa**

Sustituimos $x = 4$:

$$\frac{(4)^2 + 2(4) - 24}{4 - 4} = \frac{16 + 8 - 24}{0} = \frac{0}{0}$$

Forma **indeterminada**, así que pasamos a factorizar.

♦ **Paso 2: Factorizamos el numerador**

Buscamos dos números que multiplicados den -24 y sumados den 2 :

$$x^2 + 2x - 24 = (x + 6)(x - 4)$$

Entonces la expresión queda:

$$\frac{(x + 6)(x - 4)}{x - 4}$$

♦ **Paso 3: Cancelamos el factor común**

$$\frac{\cancel{(x - 4)}(x + 6)}{\cancel{(x - 4)}} = x + 6$$

♦ **Paso 4: Sustituimos el valor $x = 4$**

$$x + 6 = 4 + 6 = 10$$

✅ **Resultado final:**

$$\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x^2 + 2x - 24}{x - 4} = 10$$

¡Y listo! 🎉 Así se resuelve un límite por cancelación.

Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla del ChatBot desarrollado para la investigación.

5.4.2 Códigos por grupo de rendimiento académico

El cuarto objetivo específico de este trabajo fue analizar las percepciones y el impacto en el rendimiento académico en los tres grupos definidos (bajo, medio y alto rendimiento). La Tabla 22 muestra este análisis considerando únicamente los códigos que tuvieron al menos 10 menciones en total. Si bien algunos códigos no muestran diferencias significativas entre grupos, otros presentan diferencias relevantes. Por ejemplo, el código de aprendizaje activo y significativo fue valorado principalmente por el grupo de bajo rendimiento, lo que podría indicar un cambio en la forma de estudiar y comprender los límites matemáticos, dado que partieron de un nivel de comprensión más limitado. Igualmente, destaca como la práctica guiada es valorada por los grupos de bajo y alto rendimiento, lo que sugiere que el acompañamiento del ChatBot fue relevante para estudiantes con necesidades distintas, los de menor rendimiento para reforzar conceptos básicos y los de mayor rendimiento para consolidar aprendizajes más avanzados.

Tabla 22

Comparativa de códigos por grupo de rendimiento académico

Categoría	Subcategoría	Código	Rendimiento Bajo	Rendimiento Medio	Rendimiento Alto	Total
Teorías Educativas	Constructivismo	Aprendizaje activo y significativo	14	9	12	35
		Práctica guiada	12	13	4	29
		Resolución de dudas como andamiaje	8	17	14	39
	Cognitivismo	Procesos mentales	10	9	8	27
	Conectivismo	Aprendizaje a su ritmo	4	5	2	11
	TPACK	Tecnología, contenido, pedagogía	22	25	12	59
Percepción del ChatBot	Mejoras en el aprendizaje	Mejoras en racionalización	5	3	9	17
		Mejoras en cancelación	5	10	5	20
		Mayor práctica	4	4	2	10
	Experiencia del estudiante	Explicación detallada	13	10	5	28
			97	105	73	

Respecto a la resolución de dudas como andamiaje, los grupos medio y alto valoraron más este aspecto del ChatBot. Esto podría relacionarse con que estos grupos ya tenían una base de conocimientos y a la hora de la implementación, utilizaron la herramienta para superar dificultades específicas del pretest. Por su parte, los grupos bajo y medio valoran mejor el código de tecnología como apoyo para el aprendizaje. Esto sugiere que estos grupos perciben una mejora en su aprendizaje cuando cuentan con el apoyo de una herramienta tecnológica utilizada para este objetivo.

Respecto a los casos específicos de límites matemáticos, el grupo de alto rendimiento valoró de mejor manera el apoyo para límites matemáticos por racionalización y el grupo medio a los límites matemáticos por cancelación. Dado que estos temas son los que presentan mayores retos para los estudiantes, siendo el de racionalización el de mayor dificultad por las habilidades algebraicas que requiere su solución, se pudiera interpretar que, los alumnos de mayor rendimiento buscaran profundizar en los casos más complicados y el grupo medio reforzara el caso de nivel intermedio. Este hallazgo respalda la idea de que el ChatBot sirvió como andamiaje, permitiendo que cada grupo transitara desde su zona de desarrollo real a la zona de desarrollo próximo.

Finalmente, la explicación detallada fue especialmente valorada por los estudiantes de bajo rendimiento. Esto sugiere que los alumnos con mayor rezago académico requieren explicaciones más profundas para poder comprender y avanzar en su aprendizaje.

5.4.3 Nube de palabras

Con el objetivo de tener un panorama general sobre las respuestas de los estudiantes, buscando detectar tendencias, patrones o temas recurrentes, se generó una nube de palabras con aquellas con mayor frecuencia de aparición. En esta nube se eliminaron las *stop words* o

mencionado frecuentemente por los alumnos y de cómo la herramienta fungió como apoyo temporal en la enseñanza y aprendizaje.

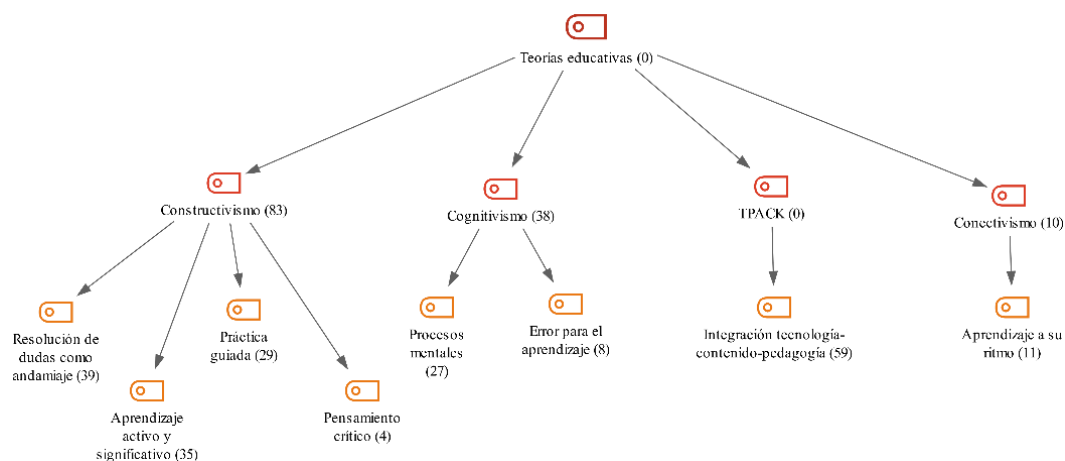
Del mismo modo, aparecen los conceptos de racionalización, cancelación, factorización, factorizar, haciendo referencia a los contenidos curriculares y muestra evidencia de que el ChatBot se usó para mejorar en los temas más complejos. De esta manera, la nube de palabras refleja la percepción de los estudiantes sobre la utilidad de la herramienta y su impacto en el aprendizaje de los límites matemáticos, lo cual está alineado tanto con el objetivo general como con los específicos de este trabajo.

5.4.4 Teorías educativas

En este apartado se presentan los resultados del análisis cualitativo de las percepciones de los estudiantes, interpretadas desde el marco de referencia de las teorías educativas que sustentan esta investigación. Los estudiantes no emplearon directamente los conceptos de dichas teorías. Fue a partir de sus respuestas que se identificaron vínculos con los principios del constructivismo, cognitivismo, conectivismo y modelo TPACK. Por este motivo, se inicia con una visualización jerárquica de la subcategoría de teorías educativas (Figura 26), incluyendo los códigos con mayor frecuencia de aparición. Posteriormente, se presentan las tablas con citas representativas, que muestran cómo los estudiantes expresaron estas percepciones relacionadas con las teorías.

Figura 26

Visualización del sistema jerárquico de la subcategoría teorías educativas



Nota. Diagrama a partir del corpus anonimizado; versión y entorno del ChatBot indicados en Método.

Con el objetivo de presentar de manera más clara las citas textuales representativas de los estudiantes, se elaboraron tres tablas divididas de la siguiente manera: las citas sobre la teoría constructivista (Tabla 23), las vinculadas a la teoría cognitivista, conectivista y TPACK (Tabla 24) y, por último, las relacionadas con la percepción del uso del ChatBot (Tabla 25). Con el fin de mantener claridad y evitar saturación de información, se seleccionaron dos citas por código (en el anexo 2 se incluye una tabla con un mayor número de citas). El criterio de selección fue que cada cita elegida mostrara el concepto teórico al que se vinculó el código. En las Tablas 23 y 24 se incluye una columna de interpretación teórica, que relaciona las citas textuales con el marco teórico planteado en la investigación. En el caso de la Tabla 25 se considera una columna de interpretación.

Tabla 23*Citas representativas de códigos relevantes sobre la teoría constructivista*

Categoría	Subcategoría	Código	Cita representativa	Interpretación teórica
Teorías	Constructivismo	Aprendizaje activo y significativo	Sí, antes solo estudiaba de apuntes y creo que el ChatBot es muy útil para practicar (Estudiante #12: 9 - 9) Si, ya que me pone ejercicios diferentes lo cual hace que esté mejor preparado para afrontar los casos de límites. (Estudiante #14: 9 - 9)	El aprendizaje significativo, en la teoría constructivista, se genera cuando los nuevos conocimientos se relacionan con los conocimientos previos. En los comentarios de los alumnos se puede identificar que el ChatBot ayuda a la práctica constante, esto activa los conocimientos previos y permite crear nuevas conexiones cognitivas. Esta interacción favorece la construcción de nuevo conocimiento y propicia el aprendizaje significativo. Esto debido a la práctica constante y la conexión entre conocimiento nuevo y previo.
		Práctica guiada	Antes solo me aprendía la factorización, ahora con el ChatBot puedo ver una explicación del procedimiento (Estudiante #28: 9 - 9) Si, diría que es muy útil gracias a que sus explicaciones si son entendibles (Estudiante #17: 6 - 6)	
		Resolución de dudas como andamiaje	Sí mejorará ya que me confundía un poco en este tema, pero las dudas que tuve me las respondió bien y ya pude estudiar mejor (Estudiante #31: 6 - 6) Te resuelve todas las dudas que tengas de la manera más clara y posible (Estudiante #31: 2 - 2)	

En la Tabla 23 se puede observar cómo las respuestas de los estudiantes tienen relación con elementos fundamentales de la teoría constructivista. Se infiere el concepto de andamiaje nuevamente, al referirse al asistente de manera indirecta como un apoyo temporal que les permitió mejorar en la comprensión de los límites matemáticos. Otro elemento que consideran fue útil para entender de mejor manera el tema, es la práctica guiada a través de explicaciones claras y detalladas. Tanto el concepto de andamiaje como la práctica guiada reflejan que el ChatBot actuó como mediador entre el conocimiento previo y el nuevo.

Otro aspecto recurrente en las respuestas de los estudiantes fueron las respuestas asociadas al aprendizaje activo, ya que señalan que el ChatBot los motivó a practicar y mejorar sus conocimientos a partir de la interacción con la herramienta. Esta práctica se relaciona directamente con una construcción significativa del conocimiento. Se considera que la resolución de dudas, fue un elemento clave para facilitar el tránsito de lo que sabían con lo que buscaban comprender. De esta manera, se puede observar en los comentarios de los alumnos, como la herramienta potenció elementos clave de la teoría constructivista.

Tabla 24

Citas representativas de códigos relevantes sobre las teorías cognitivista, conectivista y el modelo TPACK

Categoría	Subcategoría	Código	Cita representativa	Interpretación teórica
Teorías	Cognitivismo	Procesos mentales	antes el único problema que tenía era la factorización y los exponentes, la aplicación me ayudó a comprender la factorización y los signos (Estudiante #28: 7 - 7) Si ya que algunas dudas que tenía me las resolvió	En la teoría cognitivista, para que se genere el aprendizaje es necesario comprender los procesos mentales que se involucran en la adquisición de ese conocimiento. Se considera que los comentarios de los estudiantes reflejan como el ChatBot funcionó como una herramienta que facilitó la comprensión, recuperación de información y la aclaración de dudas. Esto sugiere que el ChatBot es un recurso que ayuda en el procesamiento de la información, lo cual es un eje central del cognitivismo.

		y me hizo acordarme de este tema (Estudiante #31: 4 - 4)	
Conectivismo	Aprendizaje a su ritmo	Si cambió, en primer lugar, podía entrar en mis horas libres y me explicaba donde no entendía (Estudiante #8: 9 - 9) supongo que si, es bueno explicando límites y voy a mi propio ritmo (Estudiante #5: 6 - 6)	Uno de sus pilares fundamentales del conectivismo es el acceso al conocimiento en cualquier momento y lugar mediante herramientas tecnológicas. En los comentarios de los estudiantes se percibe como el ChatBot les permitió adaptarse a su propio ritmo y horarios, ajustándose a sus tiempos libres. Además, la retroalimentación inmediata que ofrece el ChatBot fomenta un avance autónomo y continuo, facilitando resolver dudas y promoviendo un aprendizaje personalizado y fluido.
TPACK	Tecnología, contenido y pedagogía	Antes nada más veía mis apuntes y ahora con el ChatBot me da ejercicios y los resuelvo, si me surgen dudas le pregunto y me las resuelve (Estudiante #31: 9 - 9) el proceso que muestra el ChatBot para cada ejercicio, considero que es la parte más esencial y efectiva de éste (Estudiante #7: 10 - 10)	El modelo TPACK propone una integración adecuada entre el conocimiento del contenido, la pedagogía y la tecnología. En los comentarios de los estudiantes, se observa como el uso del ChatBot refleja estos elementos, ya que integra los contenidos de límites matemáticos con estrategias pedagógicas claras, mediante una herramienta tecnológica accesible e interactiva. Esto permite que el ChatBot no solo trasmita conocimiento, sino que lo haga de manera didáctica, centrada en el aprendizaje, cumpliendo con los principios fundamentales del TPACK.

En la Tabla 24 los estudiantes expresan que el ChatBot les permitió comprender y recordar, lo cual se interpreta como una alusión a los procesos mentales esenciales de la teoría cognitivista. Esta teoría se basa en cómo se procesa, organiza y recupera información a la hora de estar adquiriendo conocimiento. Por la parte conectivista, se percibe cómo tener disponible la herramienta en sus tiempos libres (estudiante #8) es un elemento que favorece la práctica y el aprendizaje. El estudiante #5 resalta la capacidad del ChatBot para que cada uno avance a su ritmo, lo cual habla de una personalización en la enseñanza y aprendizaje. Esta flexibilidad es uno de los pilares del conectivismo, al favorecer el acceso al conocimiento a través de redes digitales.

Continuando con el eje tecnológico, los estudiantes #7 y #31 siguieron una integración adecuada de la tecnología, pedagogía y el contenido matemáticos. En sus comentarios mencionan como el ChatBot propició una mayor práctica, solución de dudas y explicación detallada. Estas percepciones se alinean con los principios del modelo TPACK, en los que la tecnología no solo es un medio de transmisión, sino que se utiliza como una herramienta pedagógica para el estudio de contenidos complejos como los límites matemáticos.

5.4.5 Percepción del ChatBot

En la Tabla 25 se recogen algunas percepciones relacionadas al uso del ChatBot para el aprendizaje de límites matemáticos. De éstas destacan tres temáticas centrales: la mejora en la comprensión de ejercicios complejos, el incremento en la motivación para estudiar y, por último, la utilidad de las explicaciones detalladas.

Tabla 25

Citas representativas de códigos relevantes sobre la percepción del ChatBot

Categoría	Subcategoría	Código	Cita representativa	Interpretación teórica
Percepción del ChatBot	Mejoras en el aprendizaje	Mejora en racionalización	Las de racionalización, porque en algunos me atoraba y si le decía que no podía, me explicaba detalladamente (Estudiante #1: 8 - 8)	De los tipos de límites matemáticos abordados, los de racionalización suelen representar una mayor dificultad a los estudiantes, ya que su solución requiere habilidades algebraicas avanzadas. Los comentarios de los alumnos reflejan que el uso del ChatBot se enfocó a la mejora en los temas de mayor grado de dificultad de la unidad. También se muestra como el uso de la herramienta fue efectiva y permitió mejorar su rendimiento en estos temas complejos.
		Mejora en cancelación	Racionalización, a veces se me complica identificar el conjugado y el ChatBot me ayudó en eso (Estudiante #25: 8 - 8)	Cancelación debido a que no sabía factorizar bien y ahora se me
				Los límites por cancelación, es otro de los temas que se les dificulta a los alumnos. Los comentarios

		facilita más después de utilizar el ChatBot (Estudiante #31: 8 - 8) Me resultaba difícil a la hora de factorizar ya que me confundía un poco, pero con el ChatBot aprendí técnicas de factorización y ahora me resulta más fácil (Estudiante #31: 7 - 7)	muestran que el ChatBot fue útil para explicar y resolver dudas con la factorización, que es el procedimiento donde suelen tener problemas. Se infiere que la herramienta permitió una mejora en su aprendizaje, ya que comentan que después de su uso, les resultó más fácil resolver este tipo de ejercicios.
	Mayor práctica	Bastante, porque el ChatBot es entretenido y fácil de utilizar, por lo cual me anima a seguir haciendo ejercicios. (Estudiante #20: 6 - 6) Si, antes solo estudiaba de apuntes y creo que el ChatBot es muy útil para practicar (Estudiante #12: 9 - 9)	Otro de los temas que los estudiantes mencionaron constantemente, fue el hecho de que el ChatBot los incentivó a practicar con mayor frecuencia. Esto se asocia con una mejora en su comprensión sobre los límites y en consecuencia un incremento en su rendimiento académico. Por estos motivos se considera que la herramienta cumple con los objetivos para la cual fue diseñada.
Experiencia del estudiante	Explicación detallada	Me resulta muy útil que en cada ejercicio te explica paso a paso como se hace (Estudiante #12: 2 - 2) Que nos muestra paso a paso el proceso de resolución de cada ejercicio (Estudiante #7: 2 - 2)	Otro elemento que destacaron los estudiantes, fue que la herramienta ofrecía explicaciones detalladas, permitiéndoles comprender de mejor manera los procedimientos necesarios para resolver los ejercicios de límites. Esto indica una percepción positiva del uso del ChatBot, lo que fomenta su uso propiciando una mejora en el aprendizaje de los temas abordados.

En la Tabla 25, varios comentarios resaltan como el ChatBot facilitó el estudio de los temas más complejos de límites matemáticos (racionalización y cancelación). Esto, a través de explicaciones detalladas e identificación de procedimientos clave (como el conjugado y la factorización) para llegar a la correcta solución de los ejercicios. Otro elemento relevante expuesto por los alumnos es el incremento en la motivación para practicar (estudiante #12 y

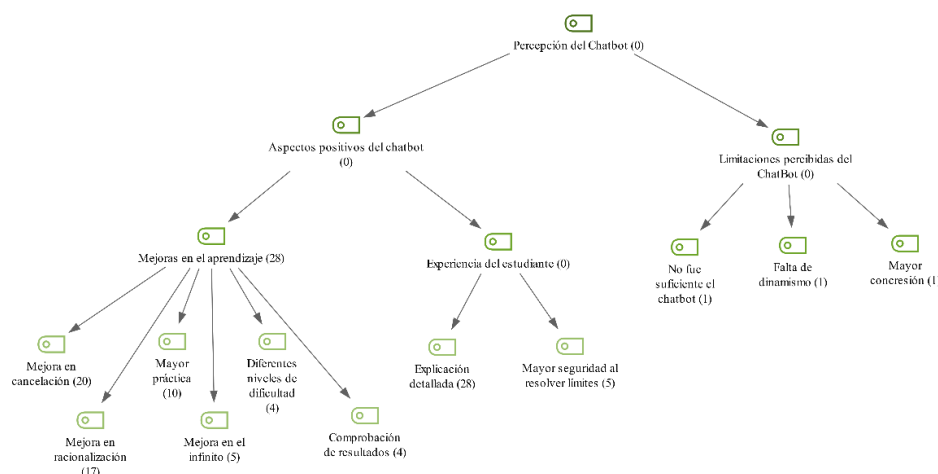
#20), resaltando la accesibilidad, el dinamismo y la facilidad de uso a la hora de estar trabajando con el ChatBot e indicando cambios en los hábitos de estudio (estudiante #12).

Nuevamente, se mencionan las explicaciones detalladas como elemento que promueve una mejora en el aprendizaje. Esto indica la necesidad de este tipo de explicaciones a la hora de abordar conceptos complejos por parte de los maestros. Asimismo, se habla de la necesidad de la búsqueda de un aprendizaje lo más personalizado posible, ya que cada estudiante tiene necesidades específicas y de cómo, en una clase grupal un número considerable de alumnos no pregunta las dudas por diversas razones. En esta idea, queda de manifiesto el potencial de las herramientas tecnológicas como el ChatBot, para atender la diversidad de ritmos y estilos de aprendizaje en el aula. Convirtiéndose en un complemento interesante para la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

Para finalizar el análisis de percepciones de los estudiantes, en la Figura 27 se presenta una visualización jerárquica de los códigos generados en esta subcategoría. Esta organización permite identificar tanto los aspectos positivos como las limitaciones percibidas por los alumnos en relación al uso del ChatBot.

Figura 27

Organización jerárquica de códigos generados en la subcategoría de percepción del ChatBot



Nota. Diagrama a partir del corpus anonimizado; versión y entorno del ChatBot indicados en Método.

5.5 Consideraciones finales del capítulo de resultados

Como cierre de este capítulo, se retoman los hallazgos más relevantes tanto de la parte cuantitativa, de la cualitativa y el vínculo entre ambas. En el análisis cuantitativo se observa un incremento general de las calificaciones del posttest respecto al pretest en la mayoría de estudiantes, pasando de una media del grupo de 5.44 puntos en el pretest a 6.85 en el posttest (+1.41). Sobre las diferencias entre los grupos, el de menor rendimiento académico fue el que reportó el mayor incremento relativo después de la intervención con el asistente ($\approx +106.5\%$). Respecto al modelo ampliado de aceptación tecnológica (TAM ampliado), la mayoría de los estudiantes evaluaron favorablemente la herramienta, teniendo una valoración general de 4.1 puntos sobre una escala de 5.

Dentro de los seis constructos del TAM ampliado, el de intención de uso fue el mejor valorado (4.5 puntos de 5), el cual presentó correlaciones positivas y significativas con todos los demás constructos (facilidad, utilidad, actitud, experiencia y rendimiento). Por este

motivo, la variable intención de uso evidenció la aceptación y beneficios del uso del ChatBot. No se determinó correlación significativa entre las percepciones (constructos del TAM ampliado) y la mejora académica (postest). En el análisis por grupos de este instrumento (prueba de Kruskal-Wallis), no se encontraron diferencias significativas entre estos grupos sobre la percepción del asistente.

Respecto a la parte cualitativa, de manera general los estudiantes percibieron al ChatBot como un apoyo útil para comprender y practicar el cálculo de límites matemáticos. Destacaron su disponibilidad en cualquier momento, la claridad de explicaciones y la posibilidad de practicar de forma autónoma con el asistente. También mencionaron aspectos como el acompañamiento personalizado, el ritmo de trabajo flexible y la retroalimentación inmediata. Los estudiantes consideraron que la herramienta puede ser un complemento de las clases presenciales y de otros materiales de estudio.

En las áreas de mejora, se mencionó evitar la repetición de ejercicios o incluir más variedad. Se hace referencia reiteradamente a que exista la posibilidad de incluir otros temas matemáticos con la estructura mostrada en el ChatBot. De manera general, las participaciones de los alumnos muestran un mayor interés y disposición a practicar fuera del horario de clase mediante esta herramienta. También se refleja una sensación de confianza para enfrentar ejercicios en evaluaciones posteriores.

Dentro del análisis cualitativo se pudieron percibir diversos elementos que son pilares de las teorías que dieron sustento al diseño e implementación del ChatBot. Después del análisis de las respuestas de los estudiantes, se identificaron frases que reflejan indirectamente los principios del constructivismo, como lo es: andamiaje, zona de desarrollo próximo y aprendizaje significativo. Estos conceptos no fueron mencionados explícitamente

por los alumnos, pero se infieren por las referencias que hicieron sobre el apoyo del asistente, la resolución de dudas y la percepción de avance en sus conocimientos mediante el asistente.

De forma similar, hicieron referencias indirectas a procesos mentales como, recordar, consolidar, pensar, reflexionar, que apuntan al cognitivismo. También valoraron positivamente la articulación mostrada por el asistente con el conocimiento, la pedagogía y la tecnología (modelo TPACK). Finalmente, se destaca la disposición para acceder al ChatBot en todo momento y lugar. Este hecho se relaciona directamente con un concepto central del conectivismo, lo que sugiere que propició un mejor aprovechamiento de la herramienta, favoreciendo el aprendizaje.

Conclusiones

El primer objetivo específico consistió en realizar un diagnóstico inicial sobre el nivel de dominio de los límites matemáticos en los estudiantes mediante el pretest. En esta prueba, casi la mitad del grupo obtuvo una calificación reprobatoria (menor a 6), con una media aritmética de 5.44 y una desviación estándar de 3.23. Este diagnóstico permitió fijar un punto de referencia para evaluar los cambios posteriores a la implementación del ChatBot. En el pretest se evidenció un dominio inicial deficiente del tema de límites matemáticos. Estos resultados confirmaron la pertinencia del uso del asistente como apoyo para reforzar el aprendizaje de los temas con mayor dificultad (cancelación y racionalización).

El segundo objetivo específico de esta investigación fue: determinar la percepción de los estudiantes acerca del uso del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. Para poder recabar esta percepción se utilizó el modelo ampliado de aceptación tecnológica de Davis (1989) denominado TAM ampliado. Asimismo, se aplicó un pretest, posttest y un cuestionario de preguntas abiertas en las que los estudiantes pudieron expresar los beneficios, limitaciones y posibles mejoras sobre el uso del asistente. Los hallazgos cuantitativos y cualitativos confirman una valoración positiva del recurso y con mejoras significativas entre pretest y posttest.

Respecto a los constructos abordados por el TAM ampliado, los resultados muestran una alta percepción de facilidad y utilidad de uso del ChatBot, así como una actitud favorable e intención positiva en su implementación. También la experiencia de uso fue valorada adecuadamente y la percepción del impacto en el rendimiento académico, estuvo valorada entre neutral y favorable. De manera general, el asistente obtuvo una buena calificación (4.1

de 5 en la escala de Likert), lo que sugiere que los estudiantes lo vieron como un apoyo en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos. Las opiniones de los alumnos en las preguntas abiertas tienen coherencia con lo expuesto en el modelo TAM ampliado, expresando beneficios y mostrando disposición para utilizarlo en un futuro.

El tercer objetivo específico que consiste en identificar los efectos que tiene el uso del ChatBot en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos, considerando su percepción y rendimiento académico. En el análisis de las opiniones de los alumnos quedó de manifiesto cómo el asistente sirvió de apoyo temporal para transitar a la zona de desarrollo próximo propuesta por Vygotsky en la teoría constructivista. También se identifica cómo la resolución de dudas se relaciona con el concepto de andamiaje, para conectar conocimientos previos con nuevos.

Otro punto relevante fue que el asistente facilitó un aprendizaje personalizado, permitiendo a cada alumno avanzar a su ritmo y según sus conocimientos. Esto permitió la atención a aquellos que necesitaban explicaciones más detalladas y los que buscaron una práctica autónoma. Asimismo, se pudo observar cómo el asistente facilitó procesos mentales básicos del cognitivismo como la percepción, memoria y atención. Y procesos cognitivos superiores como la organización, la transformación de conocimientos y la motivación para continuar utilizando el ChatBot.

Los estudiantes expresaron que el asistente mostró una articulación adecuada en el uso de tecnología, con elementos pedagógicos para el aprendizaje de los límites matemáticos, lo que sugiere la presencia del modelo TPACK. Otro punto mencionado fue la accesibilidad en todo momento y lugar del ChatBot lo que motivó su utilización.

Sobre los resultados académicos, la mayoría de los estudiantes obtuvo mejores puntuaciones en el postest. El promedio en la segunda prueba tuvo un incremento de 1.41 puntos y el 77.4% de los alumnos obtuvieron un puntaje mayor en dicha prueba. Las calificaciones obtenidas muestran una menor dispersión, concentrándose en torno a la mediana. El tiempo transcurrido entre el pretest y postest (1 mes), sugiere que el ChatBot pudo tener un papel relevante en la consolidación de los aprendizajes, aunque no puede afirmarse que haya sido el único factor que influyó en los resultados. Dado el carácter cuasi-experimental y la falta de un grupo de control, estos resultados se deben interpretar como asociaciones consistentes que derivan en un efecto positivo y no como prueba de causalidad.

Respecto al cuarto objetivo específico, el cual consistió en analizar los resultados obtenidos de la implementación del ChatBot en el aprendizaje de límites matemáticos, relacionados con las percepciones y rendimientos académicos en los tres grupos de alumnos (rendimiento bajo, medio y alto). Los análisis arrojaron que no hubo diferencias significativas por grupo en la valoración del asistente (TAM ampliado). En el rendimiento académico se encontró que, los tres grupos muestran mejoras respecto a la primera prueba, presentándose mayor homogeneidad interna en los puntajes de cada grupo después de la intervención.

Estos resultados sugieren que la brecha entre el grupo de bajo y medio rendimiento se redujo, lo que indica que el aprovechamiento académico del grupo bajo tendió a acercarse al del grupo medio. Este hallazgo se vincula con el hecho de que el grupo de bajo rendimiento fue el que mostró un cambio relativamente mayor en su desempeño. Ambos resultados sugieren que el asistente pudo beneficiar en mayor medida a los estudiantes con menor rendimiento inicial, lo que respalda la posibilidad de que el uso de un ChatBot puede ser una estrategia viable para atender el rezago académico en matemáticas.

Los grupos de rendimiento bajo y medio, mostraron una valoración mayor al uso de la tecnología como apoyo para la enseñanza y aprendizaje. Estos hallazgos se relacionan con el conectivismo, ya que el ChatBot funcionó como un nodo de conocimiento que permitió a los estudiantes acceder al contenido de forma autónoma y obtener retroalimentación al instante en un espacio diferente al salón de clase. Este hecho, propició la conexión entre conocimientos previos y nuevos, lo que pudo fortalecer su aprendizaje de los límites matemáticos.

Aparentemente estos grupos perciben una mejora al tener como apoyo una herramienta que les permita practicar y resolver sus dudas. Asimismo, el grupo bajo destacó especialmente la explicación detallada del ChatBot. Uno de los aportes más relevantes de este estudio, fue que los alumnos con mayores deficiencias académicas encontraron en el ChatBot un recurso seguro para resolver dudas, algo que por diversos motivos no hacen durante las clases. Incluso se llegó a expresar que esta posibilidad de interacción personalizada no la encuentran en otras plataformas como YouTube. Esto refuerza la idea de que los asistentes inteligentes son una herramienta viable para atender rezago académico en matemáticas.

Los resultados de este estudio sugieren que el ChatBot funcionó como un andamiaje temporal. Esto debido a que les permite a los estudiantes clarificar los procedimientos, facilita y promueve una práctica guiada y autónoma ofreciendo disponibilidad continua. Lo anterior sugiere priorizar el uso del asistente como apoyo para reforzar los temas con mayor dificultad (racionalización y cancelación). Por este motivo se recomienda diseñar actividades con explicaciones paso a paso que permitan revisar cada procedimiento, buscando con esto una comprensión gradual de los contenidos.

Limitaciones y futuras líneas de investigación

Respecto a las limitaciones del estudio, es necesario recordar que el tamaño de la muestra fue pequeño (31 participantes), lo que dificulta la generalización de conclusiones. De forma similar, la duración de la implementación fue en un periodo de tiempo corto (3 días de interacción con el ChatBot). Otro punto a considerar es el hecho de que la herramienta se entrenó en un solo para el tema de límites matemáticos. Por estas consideraciones, en futuras investigaciones se plantea llevar el estudio a una muestra mayor, buscando su implementación en otros planteles de la UAP-UAZ.

También se considera incluir más temas matemáticos y explorar el uso del asistente en otros semestres y niveles educativos. Otra consideración consiste en recopilar y analizar información más detallada de los patrones de uso de los estudiantes, ya que aportarían más elementos de análisis. Y, por último, se recomienda incorporar un grupo de control para fortalecer la validez interna e incrementar la transferibilidad de resultados en contextos similares.

Durante el desarrollo de este trabajo se mostró que cada estudiante parte con conocimientos particulares al abordar nuevos temas. En la implementación se observó que los alumnos necesitan explicaciones más detalladas, por este motivo, resulta pertinente encontrar formas para que expresen sus dudas sobre los temas matemáticos. Asimismo, se sugiere priorizar la personalización de aprendizaje en la medida de lo posible. Los resultados muestran que el uso adecuado de la tecnología, representa una alternativa innovadora para la atención de estas necesidades.

El objetivo general de la investigación fue evaluar el impacto en la enseñanza y aprendizaje de los límites matemáticos a través de la intervención de un ChatBot. Como

resumen, los hallazgos sugieren que el asistente tuvo un impacto positivo tanto en el aprendizaje como en las percepciones de los estudiantes. De forma similar, la personalización del aprendizaje, adaptándose al ritmo y nivel de cada estudiante, son elementos que indican su potencial como herramienta tecnológica innovadora y de apoyo pedagógico, para fortalecer la enseñanza y aprendizaje del tema de límites matemáticos.

Anexos

Anexo 1

Cuestionario traducido sobre el modelo de aceptación tecnológica de Fred Davis publicado en 1989:

Utilidad Percibida

1. Mi trabajo sería difícil de realizar sin el correo electrónico.
2. Usar el correo electrónico me da un mayor control sobre mi trabajo.
3. Usar el correo electrónico mejora mi desempeño en el trabajo.
4. El sistema de correo electrónico satisface mis necesidades relacionadas con el trabajo.
5. Usar el correo electrónico me ahorra tiempo.
6. El correo electrónico me permite realizar tareas más rápidamente.
7. El correo electrónico apoya aspectos críticos de mi trabajo.
8. Usar el correo electrónico me permite hacer más trabajo de lo que sería posible de otro modo.
9. Usar el correo electrónico reduce el tiempo que paso en actividades improductivas.
10. Usar el correo electrónico mejora mi efectividad en el trabajo.
11. Usar el correo electrónico mejora la calidad del trabajo que realizo.
12. Usar el correo electrónico incrementa mi productividad.
13. Usar el correo electrónico facilita hacer mi trabajo.
14. En general, encuentro útil el sistema de correo electrónico en mi trabajo.

Facilidad de uso

1. A menudo me confundo cuando uso el sistema de correo electrónico.
2. Cometo errores con frecuencia al usar el correo electrónico.
3. Interactuar con el sistema de correo electrónico es a menudo frustrante.
4. Necesito consultar el manual del usuario con frecuencia cuando uso el correo electrónico.
5. Interactuar con el sistema de correo electrónico requiere mucho esfuerzo mental.

6. Me resulta fácil recuperarme de los errores que encuentro al usar el correo electrónico.
7. El sistema de correo electrónico es rígido e inflexible para interactuar.
8. Me resulta fácil lograr que el sistema de correo electrónico haga lo que quiero.
9. El sistema de correo electrónico a menudo se comporta de maneras inesperadas.
10. Encuentro que el sistema de correo electrónico es incómodo de usar.
11. Mi interacción con el sistema de correo electrónico es fácil de entender para mí.
12. Me resulta fácil recordar cómo realizar tareas utilizando el sistema de correo electrónico.
13. El sistema de correo electrónico proporciona orientación útil para realizar tareas.
14. En general, encuentro que el sistema de correo electrónico es fácil de usar.

Anexo 2

Citas representativas de códigos relevantes del análisis cualitativo

Categoría	Subcategoría	Código	Cita representativa
Teorías	Constructivismo	Aprendizaje activo y significativo	sí, antes solo estudiaba de apuntes y creo que el ChatBot es muy útil para practicar (Estudiante #12: 9 - 9) sí, antes solo repasaba apuntes y veía videos, ahora hago ejercicios (Estudiante #30: 9 - 9) sí, el hecho que me daba un ejercicio y opciones y yo ya resolvía esos ejercicios en la libreta (Estudiante #26: 9 - 9) si, ya que me pone ejercicios diferentes lo cual hace que esté mejor preparado para afrontar los casos de límites. (Estudiante #14: 9 - 9)
		Práctica guiada	antes solo me aprendía la factorización, ahora con el ChatBot puedo ver una explicación del procedimiento (Estudiante #28: 9 - 9) la manera en que explica, resuelve los ejercicios y resuelve nuestras dudas (Estudiante #24: 2 - 2) que el ChatBot puede además de decir la respuesta correcta, resuelve el ejercicio para comprobar (Estudiante #28: 2 - 2) que explica a veces detalladamente por qué (Estudiante #8: 2 - 2)

			si, diría que es muy útil gracias a que sus explicaciones si son entendibles (Estudiante #17: 6 - 6)
		Resolución de dudas como andamiaje	la manera en que explica, resuelve los ejercicios y resuelve nuestras dudas (Estudiante #24: 2 - 2)
			no me resultaba particularmente difícil, solo tenía dudas específicas y puedo resolverlas con el ChatBot (Estudiante #23: 7 - 7)
			Pues antes tenía que ver videos y me quedaba con dudas (Estudiante #11: 9 - 9)
			si mejorará ya que me confundía un poco en este tema, pero las dudas que tuve me las respondió bien y ya pude estudiar mejor (Estudiante #31: 6 - 6)
			te resuelve todas las dudas que tengas de la manera más clara y posible (Estudiante #31: 2 - 2)
Teorías	Cognitivismo	Procesos mentales	antes el único problema que tenía era la factorización y los exponentes, la aplicación me ayudó a comprender la factorización y los signos (Estudiante #28: 7 - 7)
			Creo que si y fue gracias al ChatBot ya que me ayuda a comprender (Estudiante #11: 6 - 6)
			si creo que había muy grande mejora porque ya tengo más claridad del tema (Estudiante #22: 6 - 6)
			si ya que algunas dudas que tenía me las resolvió y me hizo acordarme de este tema (Estudiante #31: 4 - 4)
			sí, porque es una gran ayuda que me sirve para estudiar y si le atribuía gran parte porque no recordaba muy bien como resolver los límites y el ChatBot me ayudó a recordar (Estudiante #24: 6 - 6)
	Conectivismo	Aprendizaje a su ritmo	no era complicado, sin embargo, al momento de encontrarme con una duda, me respondía al instante y la resolvía (Estudiante #7: 7 - 7)
			si cambió, en primer lugar podía entrar en mis horas libres y me explicaba donde no entendía (Estudiante #8: 9 - 9)
			creo que si, porque es repasar un tema a la hora que tengo libre sin preocuparme por no entender (Estudiante #8: 6 - 6)

						si, le atribuiría una gran parte del crédito, pues es una herramienta que está a la mano y proporciona un aprendizaje más personalizado (Estudiante #7: 6 - 6) supongo que si, es bueno explicando límites y voy a mi propio ritmo (Estudiante #5: 6 - 6)
	TPACK			Tecnología, contenido y pedagogía		antes nada más veía mis apuntes y ahora con el ChatBot me da ejercicios y los resuelvo, si me surgen dudas le pregunto y me las resuelve (Estudiante #31: 9 - 9) antes no podía resolver un ejercicio en específico porque no todos los ejercicios están en youtube (Estudiante #29: 9 - 9) Creo que si y fue gracias al ChatBot ya que me ayuda a comprender (Estudiante #11: 6 - 6) el proceso que muestra el ChatBot para cada ejercicio, considero que es la parte más esencial y efectiva de éste (Estudiante #7: 10 - 10) límites por racionalización, el ChatBot ayudó bastante con la visibilidad del proceso (Estudiante #7: 8 - 8)
Percepción del ChatBot	Mejoras en el aprendizaje			Mejora en la racionalización		Las de racionalización, porque en algunos me atoraba y si le decía que no podía, me explicaba detalladamente (Estudiante #1: 8 - 8) racionalización, me ayudó a entenderlo mejor (Estudiante #19: 8 - 8) racionalización, a veces se me complica identificar el conjugado y el ChatBot me ayudó en eso (Estudiante #25: 8 - 8) límites por racionalización, el ChatBot ayudó bastante con la visibilidad del proceso (Estudiante #7: 8 - 8)
				Mejora en cancelación		cancelación debido a que no sabía factorizar bien y ahora se me facilita más después de utilizar el ChatBot (Estudiante #31: 8 - 8) cancelación, el ChatBot me explicó como factorizar correctamente (Estudiante #13: 8 - 8) cancelación, me ayudó porque le preguntaba por la factorización y me la explicaba bien (Estudiante #18: 8 - 8) en lo personal fue con cancelación porque me ayudó a recordar unos pasos importantes

			(Estudiante #8: 8 - 8) me resultaba difícil a la hora de factorizar ya que me confundía un poco, pero con el ChatBot aprendí técnicas de factorización y ahora me resulta más fácil (Estudiante #31: 7 - 7)
	Mayor práctica		antes nada más veía mis apuntes y ahora con el ChatBot me da ejercicios y los resuelvo, si me surgen dudas le pregunto y me las resuelve (Estudiante #31: 9 - 9) bastante, porque el ChatBot es entretenido y fácil de utilizar, por lo cual me anima a seguir haciendo ejercicios. (Estudiante #20: 6 - 6) creo que mejorará considerablemente debido a la práctica de ejercicios con el ChatBot (Estudiante #23: 6 - 6) si, antes solo estudiaba de apuntes y creo que el ChatBot es muy útil para practicar (Estudiante #12: 9 - 9)
Experiencia del estudiante	del	Explicación detallada	la forma en que el ChatBot explica cómo resolverlo paso a paso (Estudiante #5: 2 - 2) Las de racionalización, porque en algunos me atoraba y si le decía que no podía, me explicaba detalladamente (Estudiante #1: 8 - 8) me resulta muy útil que en cada ejercicio te explica paso a paso como se hace (Estudiante #12: 2 - 2) que explica a veces detalladamente por qué (Estudiante #8: 2 - 2) que nos muestra paso a paso el proceso de resolución de cada ejercicio (Estudiante #7: 2 - 2) si porque te dice con palabras de donde sale cada resultado (Estudiante #9: 7 - 7)

Referencias

- Adamopoulou, E. y Moussiades, L. (2020). An overview of chatbot technology. En I. Maglogiannis, L. Iliadis, y E. Pimenidis (Eds.), *Artificial intelligence applications and innovations* (pp. 373–383). Springer International Publishing.
- Apostol, T. M. (1967). *Calculus, Vol. 1: One-variable calculus, with an introduction to linear algebra* (2nd ed.). Wiley.
- Ballesteros-Ballesteros, V. A., Rodríguez-Cardoso, Ó. I., Lozano-Forero, S. y Nisperuza-Toledo, J. L. (2020). El aprendizaje móvil en educación superior: Una experiencia desde la formación de ingenieros. *Revista Científica*, 38(2), 243–257.
<https://doi.org/10.14483/23448350.15214>
- Banco de México. (s.f.). *Portal de inflación*.
<https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=inf&idioma=sp>
- Barana, A. y Marchisio, M. (2020). An interactive learning environment to empower engagement in mathematics. *Interaction Design and Architecture(s)*, 45, 302–321.
<https://doi.org/10.55612/s-5002-045-014>
- Bassi, J. (2015). *Formulación de proyectos de tesis en ciencias sociales manual de supervivencia para estudiantes de pre y posgrado*.
https://www.academia.edu/6829210/Formulación_de_proyectos_de_tesis_en_ciencias_sociales_Manual_de_supervivencia_para_estudiantes_de_pre_y_posgrado
- Beaudin, L. y Hadden, C. (2004). Developing technopedagogical skills in pre-service teachers. En J. Nall y R. Robson (Eds.), *Proceedings of E-Learn 2004--World*

- Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education* (pp. 492–498). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). <https://www.learntechlib.org/primary/p/11366/>
- Benjamin, L. T. (1988). A history of teaching machines. *American Psychologist*, 45(4), 551–552. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.45.4.551.b>
- Bruner, J. S. (1991). *Actos de significado: Más allá de la revolución cognitiva*. Alianza.
- Calderón Leal, V. H. (2022). Competencias docentes y su relación con la reprobación de los alumnos en matemáticas. *Revista Praxis Educativa*, 23(9), 22–35.
- Campuzano-López, J. G., Pazmiño-Campuzano, M. F. y San-Andrés-Laz, E. M. (2021). Dispositivos móviles y su influencia en el aprendizaje de la Matemática. *Ciencias de La Educación*, 7(1), 648–662.
<http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/indexCienciasdelaeducaciónArtículoRevisión>
- Canal DGEPP oficial. (s.f.). *El nacimiento de los libros de texto gratuitos* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/ots8d-UnK8I>
- Cantero Ramírez, E., Alcalá Onofre, B. G. y Robles González, C. M. (2021). *El U-Learning transformando las aulas para desarrollar habilidades matemáticas*. Escuela Normal Superior del Estado de Puebla.
- Carretero, M. (1997). ¿Qué es el constructivismo? En M. Carretero (Ed.), *Constructivismo y Educación*, (pp. 39–71). Paidós.

- Carvajal Peraza, L. J., Covarrubias Santillán, J. M., González Zúñiga, J. de J. y Uriza Peraza, J. J. (2019). Uso de tecnología en el aprendizaje de matemáticas universitarias. *RITI Journal*, 7, 13.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7107348.pdf>
- Castillo-Sánchez, M., Gamboa-Araya, R. y Hidalgo-Mora, R. (2020). Factores que influyen en la deserción y reprobación de estudiantes de un curso universitario de matemáticas. *Uniciencia*, 34(1), 219–245. <https://doi.org/10.15359/ru.34-1.13>
- Comisión Nacional para la Mejora Continua de la Educación [MEJOREDU]. (2021). *Construir el futuro de la educación en México: Hacia una agenda de política educativa nacional*.
https://www.mejoredu.gob.mx/images/publicaciones/agenda_politica.pdf
- Contreras, I. (1996). La investigación en el aula en el marco de la investigación cualitativa en educación: una reflexión acerca de sus retos y posibilidades. *Revista Educación*, 20, 1, 109–125.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 319–340.
- De Vila, E. y Lama, M. (2007). Introduction to special issue AI techniques applied in education. *Inteligencia Artificial*, 11(33). <https://doi.org/10.4114/ia.v11i33.914>
- Del Campo, J. M., Negro, V. y Núñez, M. (2012). The history of technology in education. A comparative study and forecast. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 69(Icepsy), 1086–1092. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.036>

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2022, 19 de agosto). *Acuerdo número 17/08/22 por el que se establece el Marco Curricular Común de la Educación Media Superior*.

Secretaría de Gobernación

https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5663344

Elles Ardila, L. M. y Gutiérrez, D. A. (2021). Fortalecimiento de las matemáticas usando la gamificación como estrategias de enseñanza –aprendizaje a través de tecnologías de la información y la comunicación en educación básica secundaria. *Interacción Revista Digital de AIPO*, 2(1), 7–16.

Esteban-Millat, I., Martínez-López, F. J., Pujol-Jover, M., Gázquez-Abad, J. C. y Alegret, A. (2018). An extension of the technology acceptance model for online learning environments. *Interactive Learning Environments*, 26(7), 895–910.
<https://doi.org/10.1080/10494820.2017.1421560>

Fernández Carballo, R. (2001). La entrevista en la investigación cualitativa. *La Entrevista Psicológica*, 99–114. <https://doi.org/10.2307/jj.3790048.9>

García Sánchez, O. V. (2023). Uso y percepción de ChatGPT en la educación superior. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 11(23), 98–107.
<https://doi.org/10.36825/RITI.11.23.009>

Gavira Durón, N. (2023). Cómo potenciar las habilidades matemáticas con ChatGPT. *Revista Mexicana De Bachillerato a Distancia*, 15(30).
<https://doi.org/10.22201/cuaieed.20074751e.2023.30.86525>

- Granić, A. y Marangunić, N. (2019). Technology acceptance model in educational context: A systematic literature review. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), 2572–2593. <https://doi.org/10.1111/bjet.12864>
- Graves L, C. (2010). La búsqueda de la modernidad. En D. Tanck de Estrada (Ed.), *Historia mínima de la educación en México* (p. 261). El Colegio de México.
- Gutiérrez Campos, L. (2012). Conectivismo como teoría de aprendizaje: conceptos, ideas, y posibles limitaciones. *Revista Educación y Tecnología*, N° 1, 111–122. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4169414>
- Heredia Sánchez, B. D. C., Pérez Cruz, D., Cocón Juárez, J. F. y Zavaleta Carrillo, P. (2020). La gamificación como herramienta tecnológica para el aprendizaje en la educación superior. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 9(2), 49–58. <https://doi.org/10.37843/rted.v9i2.144>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2020). Metodologías de la investigación, las rutas cuantitativas, cualitativas. *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales (RUDICS)* (Vol. 10, 18).
- Hernández, G. (1998). *Paradigmas en psicología*. https://www.academia.edu/43353608/Hernández_Rojas_Paradigmas_en_psicología_de_la_educación?auto=download
- Hernández Silvera, D. I. (2021). Desafíos de las TICs, TAC, TEP: Impacto de una propuesta educativa virtual en escuelas secundarias vulnerables. *Revista de Educación Inclusiva*. 14, 187–199.

Instituto Internacional de la UNESCO para la Educación Superior [IESALC]. (2021).

Caminos hacia 2050 y más allá: resultados de una consulta pública sobre los futuros de la educación superior. Unesco Iesalc. https://www.iesalc.unesco.org/wp-content/uploads/2021/11/Pathways-to-2050-and-beyond_ESP-1.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (s.f.-a). *Encuesta nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares (ENDUTIH) 2023*. Recuperado el 20 de diciembre de 2024, de <https://www.inegi.org.mx/programas/endutih/2023/#tabulados>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (s.f.-b). *Maestros y escuelas por entidad federativa según nivel educativo*. Recuperado el 10 de abril de 2024, de <https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=8c29ddc6-eeca-4dcc-8def-6c3254029f19>

Islam, A. K. M. N. (2013). Investigating e-learning system usage outcomes in the university context. *Computers and Education*, 69, 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.037>

Karsenti, T. (2001). From blackboard to mouse pad: training teachers for the new millennium. *Education Canada*, 41(2), 32-35. <https://www.edcan.ca/wp-content/uploads/EdCan-2001-v41-n2-Karsenti.pdf>

Koehler, M. J., Mishra, P. y Cain, W. (2015). ¿Qué son los saberes tecnológicos y pedagógicos del contenido (TPACK)? *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 6(10), 9–23. <https://doi.org/10.60020/1853-6530.v6.n10.11552>

- Labadze, L., Grigolia, M. y Machaidze, L. (2023). Role of AI chatbots in education: Systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00426-1>
- Latorre Beltrán, A. (2004). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*, Editorial Graó.
- Leiva, C. (2005). Conductismo, cognitivismo y aprendizaje. *Tecnología en Marcha*, 18(1), 66–74.
- Liaw, S. S. (2008). Investigating students perceived satisfaction, behavioral intention, and effectiveness of e-learning: A case study of the Blackboard system. *Computers and Education*, 51(2), 864–873. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2007.09.005>
- López, V. O. y Hederich, M. C. (2010). Efecto de un andamiaje para facilitar el aprendizaje autorregulado en ambientes hipermedia. *Revista Colombiana de Educación*, 58, 40. <https://doi.org/10.17227/01203916.632>
- Márquez-Díaz, J. E. y Morales-Espinosa, L. A. (2019). Realidad aumentada como herramienta de apoyo al aprendizaje de las funciones algebraicas y trascendentes. *Revista Educación en Ingeniería*, 15(29), 34–41. <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/1037>
- Márquez Díaz, J. E. (2020). Tecnologías emergentes aplicadas en la enseñanza de las matemáticas. *DIM: Didáctica, Innovación y Multimedia*, 38.
- Meza Muñoz, A. I., Eudave Muñoz, D. y Salinas Gutiérrez, R. (2021, noviembre). *Factores asociados con la reprobación de estudiantes de ingeniería en las materias de*

- matemáticas*. En XVI Congreso Nacional de Investigación Educativa (COMIE), modalidad virtual. Puebla. México.
- Morales Soza, M. G. (2020). TPACK para integrar efectivamente las TIC en educación: Un modelo teórico para la formación docente. *Revista Electrónica de Conocimientos, Saberes y Prácticas*, 3(1), 133–148. <https://doi.org/10.5377/recsp.v3i1.9796>
- Muttappallymyalil, J., Mendis, S., John, L. J., Shanthakumari, N., Sreedharan, J. y Shaikh, R. B. (2016). Evolution of technology in teaching: Blackboard and beyond in Medical Education. *Nepal Journal of Epidemiology*, 6(3), 588–594. <https://doi.org/10.3126/nje.v6i3.15870>
- OCDE. (2018). *Resultados PISA 2018 (Volumen I): Lo que los estudiantes saben y pueden hacer*. <https://doi.org/10.1787/5f07c754-es>
- OCDE. (2022). *Resultados PISA 2022 (Volumen I): El estado del aprendizaje y la equidad en la educación*. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Planea. (2017). *Plan Nacional para la Evaluación de los Aprendizajes: Educación Media Superior 2017*. http://planea.sep.gob.mx/ms/base_de_datos_2017/
- Posso Pacheco, R. J., Barca Miranda, L. C. y Otáñez Enríquez, N. R. (2020). El Conductismo en la formación de los estudiantes universitarios. *Revista Educare*, 24(1), 117–133. <https://revistas.investigacion-upelipb.com/index.php/educare/article/view/1229/1229>
- Prendes Espinosa, M. P. y Cerdán Cartagena, F. (2021). Tecnologías avanzadas para afrontar el reto de la innovación educativa. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 35–53. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.28415>

- Quishpe-López, C. P. y Vinueza-Vinueza (2021). Diseño de una aplicación móvil educativa a través de app inventor para reforzar el proceso enseñanza-aprendizaje de operaciones con números enteros. *Cátedra*, 4(2), 34-54
- Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D. y Amodei, D. (2019). *Language models are unsupervised multitask learners*. <https://insightcivic.s3.us-east-1.amazonaws.com/language-models.pdf>
- Reveles Gamboa, S., Núñez Orta, M. de la L. y Villegas Berumen, H. G. (2022). La relación entre el uso de tecnologías de la información, en el aprendizaje del cálculo diferencial y el liderazgo. Un análisis realizado en Jerez, Zacatecas. *El Cálculo y su Enseñanza. Enseñanza de las Ciencias y la Matemática*, 18, 1–12.
- Rodríguez-Cubillo, M. del R., del Castillo, H. y Arteaga-Martínez, B. (2021). El uso de aplicaciones móviles en el aprendizaje de las matemáticas: Una revisión sistemática. *Ensayos-Revista De La Facultad De Educación De Albacete*, 36(1), 17–34.
- Romero, F. (2009). Aprendizaje significativo y constructivismo. *Temas para la educación, Revista Digital para Profesionales de La Enseñanza*, 1–8.
<http://www.fe.ccoo.es/andalucia/docu/p5sd4981.pdf>
- Romero Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Enfermería del Trabajo*, 6(3), 105–114.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>
- Salazar-Gómez, J. F., Dolores-Ruíz, E., Vázquez-Cruz, R. y Tejeda-Córdoba, D. (2021). AppMatetics como apoyo para el aprendizaje de operaciones algebraicas en

- estudiantes universitarios. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(3), 545–554. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n3.2021.13352>
- Salcedo Montoya, M. A. C., Salcedo Montoya, J. P., Gutiérrez Rodríguez, M. A. y Simancas Altieri, I. M. (2020). La reprobación en los estudiantes de la licenciatura en contaduría de la UAZYA-UAN en las materias de contenido matemático. *Boletín Redipe*, 9, 2–9.
- Sanabria-Navarro, J. R., Silveira-Pérez, Y., Pérez-Bravo, D. D. y De-Jesús-Cortina-Núñez, M. (2023). Incidences of artificial intelligence in contemporary education. *Comunicar*, 31(77). <https://doi.org/10.3916/C77-2023-08>
- Sarrazola-Alzate, A. (2023). Uso de ChatGPT como herramienta en las aulas de clase. *Revista EIA*, 20(40), 1–6. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i40.1708>
- Schacter, J. y Jo, B. (2017). Improving preschoolers mathematics achievement with tablets: a randomized controlled trial. *Mathematics Education Research Journal*, 29(3), 313–327. <https://doi.org/10.1007/s13394-017-0203-9>
- Schuster, A., Puente, M., Andrada, O. y Maiza, M. (2013). La metodología cualitativa, herramienta para investigar los fenómenos que ocurren en el aula. *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología*, 4(2), 109–139.
- Secretaría de Educación Pública. (2023a). *Atlas de los servicios educativos*. https://planeacion.sep.gob.mx/Doc/Atlas_estados/0000_Atlas_completo.pdf
- Secretaría de Educación Pública. (2023b). *Rediseño del Marco Curricular Común de la Educación Media Superior 2019 – 2022*.

- <https://dgb.sep.gob.mx/storage/recursos/marco-curricular-comun/XFVjVjC2r1-Documento-base-MCCEMS.pdf>
- Siemens, G. (2004). *Elearnspace. Connectivism as a learning theory for the digital age*. Elearnspace.Org, 1–9.
- Stewart, J. (2012). *Cálculo de una variable: Trascendentes tempranas* (7ma ed.). Cengage Learning.
- Subsecretaría de Educación Media Superior [SEMS]. (2023). *La Nueva Escuela Mexicana (NEM): orientación para padres y comunidad en general*.
[https://desarrolloprofesionaldocente.sems.gob.mx/convocatorias 2025/docs/La NEM/NEM Orientaciones padres y comunidad.pdf](https://desarrolloprofesionaldocente.sems.gob.mx/convocatorias%2025/docs/LaNEM/NEM%20Orientaciones%20padres%20y%20comunidad.pdf)
- Tachie, S. A. y Chireshe, R. (2013). High failure rate in mathematics examinations in rural senior secondary schools in mthatha district, eastern cape: Learners' Attributions. *Studies of Tribes and Tribals*, 11(1), 67–73.
<https://doi.org/10.1080/0972639x.2013.11886667>
- Tanck de Estrada, D. (2010). El siglo de las luces. En D. Tanck De Estrada (Ed.), *Historia mínima de la educación en México* (p. 261). El Colegio de México.
- UAZ. (1993). *Plan de estudios de la escuela preparatoria*.
<https://uap.uaz.edu.mx/index.php/node/20>
- UNESCO. (2015). Educación 2030. Declaración de Incheon. Marco de Acción.
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656_spa

Unidad Académica Preparatoria de la Universidad Autónoma de Zacatecas [UAP-UAZ].

(2021). *Plan de Desarrollo Institucional*. <https://uap.uaz.edu.mx/node/199>

Universidad Autónoma de Zacatecas [UAZ]. (2021). *Plan de Desarrollo Institucional*.

https://mcpi.uaz.edu.mx/wp-content/uploads/2021/08/PDI-UAZ_2021-2025.pdf

Vaillant, D., Rodríguez Zidán, E. y Bentancor Biagas, G. (2020). Uso de plataformas y

herramientas digitales para la enseñanza de la matemática. *Ensaio*, 28(108), 718–740.

<https://doi.org/10.1590/S0104-40362020002802241>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological*

processes (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, y E. Souberman, Eds.). Harvard

University Press.