Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica
Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos

Análisis del efecto de un tutor afectivo en el rendimiento académico cuando se presenta ansiedad matemática en el contexto de una universidad pública de Puebla.

Propuesta de tesis para obtener el grado de:
Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos.

Presenta:
Arlem Aleida Castillo Avila

Asesores:
Dr. Juan Manuel González Calleros
Dra. Josefina Guerrero García
Evaluadores:
Dra. Rosario Rogel-Salazar
Dr. Alfonso Infante Moro

Septiembre 2024

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el apoyo económico otorgado para esta investigación doctoral.

Agradezco profunda y sinceramente el apoyo constante y trascendente de mis asesores, Dr. Juan Manuel González Calleros y Dra. Josefina Guerrero García. Más allá de ser mis guías académicos, se han convertido en mis maestros de vida a lo largo de todos estos años de conocerlos. Mi admiración y aprecio por siempre para ustedes.

Agradezco a mi familia por creer que esto iba a ser posible. A mis padres, Galdino y Gloria, por su amor y su fe. A mis hermanos, Martí y Jayi, por el ánimo y cada momento de apoyo. A mi esposo Bryan por toda la paciencia y el soporte desde el primer día. Y a Jade, hija mía, con quien ya he comenzado y terminado otros caminos, siempre a tu lado, tú por mí, yo por ti.

En fin, agradezco a todos quienes se involucraron en el proceso. A mis docentes del DSAE y a mis evaluadores por sus enseñanzas. A mis compañeros, galletitas, por cada momento y sentimiento compartido. A la Dra. Blanca Pedroza por su colaboración, y a quienes participaron en cada prueba llevada a cabo y sin quienes, literalmente, esto no hubiera sido posible.

Al cerrar este capítulo, reitero mi profundo agradecimiento a todos aquellos que han contribuido a este logro, su influencia y apoyo han sido invaluables. Espero que este trabajo contribuya al crecimiento del conocimiento y de la educación.

¡Valar Dohaeris!

(Todos los hombres deben servir.)

Resumen

El proceso de aprendizaje no depende únicamente de las capacidades cognitivas del estudiante, también está influenciado por otros factores, entre los que se encuentra el contexto emocional. La ansiedad matemática es un ejemplo de un factor que surge de la situación emocional del estudiante y que, como problemática de aprendizaje, no se ha abordado adecuadamente desde la perspectiva educativa en México, ya que no se considera una deficiencia formalizada. La personalización del aprendizaje es una de las estrategias más efectivas ante este tipo de problemas. Sin embargo, es difícil que un docente atienda las necesidades individuales de todos los estudiantes de un grupo durante las clases. Una herramienta de aprendizaje mediado por tecnología que permite personalizar el proceso de aprendizaje en torno a las emociones son los sistemas tutores afectivos, que adaptan su flujo de interacción tomando en cuenta el estado emocional detectado en el usuario. En esta investigación, se analizó el efecto del uso de un sistema tutor afectivo, considerando la presencia de ansiedad matemática en el aprendizaje del álgebra en un grupo de estudiantes de nivel superior en una institución de la ciudad de Puebla, México. Los resultados sugieren la necesidad de atención al problema de ansiedad matemática, así como una mejora en el rendimiento académico de los estudiantes cuando se reguló su estado emocional a través de la adaptación del material educativo, en comparación con aquellos que siguieron un entrenamiento sin personalizar.

Abstract

The learning process does not depend only on the student's cognitive abilities; it is also influenced by other factors, among which is the emotional context. Mathematical anxiety is an example of a factor that arises from the student's emotional situation and that, as a learning problem, has not been adequately addressed from the educational perspective in Mexico, since it is not considered a formalized deficiency. Personalization of learning is one of

the most effective strategies to deal with this type of problem. However, it is difficult for a teacher to meet the individual needs of all students in a group during class. A technology-mediated learning tool that allows personalizing the learning process around emotions are affective tutor systems, which adapt their interaction flow taking into account the emotional state detected in the user. In this research, the effect of the use of an affective tutor system was analyzed, considering the presence of mathematical anxiety in the learning of algebra in a group of high school students in an institution in the city of Puebla, Mexico. The results suggest the need for attention to the problem of mathematical anxiety, as well as an improvement in the academic performance of the students when their emotional state was regulated through the adaptation of the educational material, compared to those who followed a training without personalization.

Índice

1 Introducción **9**

1.1 Justificación 10

1.2 Planteamiento del problema 11

1.3 Preguntas de investigación 12

1.4 Hipótesis 13

1.5 Variables 13

1.6 Objetivo general 13

1.7 Objetivos específicos 14

1.8 Limitaciones 14

1.9 Línea de investigación 15

1.9.1 Multimedia y desarrollo educativo 15

1.9.2 Desarrollo tecnológico e innovación en los sistemas y ambientes educativos. 16

1.10 Capitulado de la tesis 18

2 Estado del arte **20**

2.1 Tendencias en la investigación de ITS y ATS 21

2.1.1 Identificación de las emociones en el aprendizaje 31

2.1.2 Procesamiento de las emociones en un ITS 33

2.1.3 Explicación de las emociones en el aprendizaje mediado por tecnología 34

2.1.4 Los sistemas tutores afectivos en México 35

2.2 Problemas en el aprendizaje matemático 36

2.2.1 Perspectivas y desafíos actuales en la enseñanza de las Matemáticas 37

2.2.2 Estudio y tratamiento de la ansiedad matemática 38

2.2.3 Medición de la ansiedad matemática 39

3 Marco teórico **42**

3.1 Aprendizaje matemático y el modelo 3UV 43

3.1.1 Variable como incógnita específica 44

3.1.2 Variable como número general 44

3.1.3 Variable como función 45

3.2 Emociones en el aprendizaje 45

3.2.1 Ansiedad matemática 48

3.3 Carga cognitiva 50

3.4 Aprendizaje personalizado 53

3.5 Aprendizaje mediado por tecnología 55

3.6 Cómputo afectivo 56

3.7 Sistemas tutores inteligentes 58

4 Marco metodológico **60**

4.1 Población y muestra de la investigación 61

4.2 Instrumentos de recolección de datos 62

4.2.1 Escala abreviada de ansiedad matemática (AMAS) 63

4.2.2 Escala de usabilidad de sistemas (SUS) 63

4.2.3 AEQ-S: Una versión corta del cuestionario de emociones de logro 64

4.3 Desarrollo de la estrategia de medición del estado afectivo 65

4.4 Elaboración de un diseño instruccional adaptativo 65

4.5 Integración del estado emocional al modelo del estudiante 67

4.6 Evaluación del efecto en el rendimiento académico 68

4.6.1 Prueba piloto de usabilidad del sistema 69

4.6.2 Procedimiento del experimento 69

4.7 Análisis de datos 70

5 Resultados **72**

5.1 Diagnóstico de ansiedad matemática 72

5.2 Implementación de un sistema tutor inteligente que se adapte a las emociones del estudiante 74
5.3 Primer piloto de evaluación del ATS 76
5.4 Estudio del efecto del ATS 77
5.4.1 Análisis descriptivo de la muestra 79
5.4.2 Análisis de los niveles de ansiedad matemática 80
5.4.3 Análisis del rendimiento académico 83
5.4.4 Análisis de emociones 84
5.4.5 Resultados de usabilidad del ATS 86

6 Conclusiones **90**
6.1 Trabajo futuro 93

Índice de figuras

1 Proceso de la revisión sistemática sobre sistemas tutores afectivos. . 21
2 Distribución de los documentos por tipo. 23
3 Publicaciones por año en relación con los Sistemas Tutores Inteligentes 32
4 Interfaz de Fermat (Cabada et al., 2012) 36
5 Relación entre cognición y afecto. 43
6 Modelo de emociones en el aprendizaje de Pekrun (2014) 47
7 Cómputo afectivo en la tecnología educativa. (Elaboración propia). 58
8 Relación entre las variables de la investigación. (Elaboración propia) 60
9 Componentes de un Sistema Tutor Inteligente. 68
10 Procedimiento de uso del ATS. 71
11 Distribución de los participantes por sexo. 72
12 Conjunto de servicios del ATS. (Elaboración propia) 75
13 Diagrama de tareas de usuarios del ATS. 76
14 Implementación del ATS desarrollado en esta investigación. 78
15 Distribución de los participantes por género en cada grupo. 79
16 Gráfica comparativa del nivel de ansiedad matemática inicial y final del grupo experimental y de control registrado en la escala AMAS. . 81
17 Variaciones del gozo durante las 5 sesiones. 85
18 Variaciones de la ansiedad durante las 5 sesiones. 85
19 Variaciones del aburrimiento durante las 5 sesiones. 87
20 Matriz de dispersión de las emociones observadas. 87
21 Comparación entre las puntuaciones de usabilidad del grupo de control y el grupo experimental. 88
22 Ejemplos de las dos versiones de interfaz de usuario desarrolladas para el ATS. 89

Índice de tablas

1 Comparación de las características de integración de emociones en los ITS 24
2 Clasificación de emociones identificadas por D'Mello 32
3 Resultados del diagnóstico de ansiedad matemática. 73
4 Comparación de resultados de ansiedad por factor significante. . . . 74
5 Características de los participantes por cada grupo. 80
6 Características de la muestra final. 81
7 Resultados del diagnóstico de ansiedad matemática de la muestra final. 82
8 Comparación de resultados de ansiedad por factor significante de la muestra final. 83
9 Matriz de correlaciones entre las emociones observadas. 87
10 Intervalos de confianza para los coeficientes del modelo. 89
11 Matriz de correlaciones entre la Ansiedad Matemática, Rendimiento Académico y Usabilidad. 89

1 Introducción

La educación matemática en México presenta varios desafíos, como se refleja en los resultados deficientes en las evaluaciones de los niveles medio y superior. Los resultados de pruebas, como PLANEA, muestran que la mayoría de los estudiantes tiene dificultades para realizar operaciones aritméticas básicas, y estos bajos niveles de rendimiento académico están relacionados con los niveles educativos previos (INEE, 2018). En la literatura especializada en la enseñanza de las matemáticas, se ha reconocido que los conocimientos básicos de matemáticas que no se adquieren adecuadamente en los primeros años escolares pueden llevar a deficiencias que se agravan con el tiempo y que afectan el aprovechamiento de conocimientos adquiridos (Larrazolo et al., 2013).

El aprendizaje matemático no solo está relacionado con aspectos cognitivos, sino también con aspectos emocionales que tienen un papel central en el proceso. Considerar el aspecto emocional del estudiante al adaptar las instrucciones, materiales y tareas de enseñanza de las matemáticas podría contribuir a mejorar su desempeño y aprendizaje.

En este contexto, un sistema tutor inteligente (Intelligent Tutoring System, ITS) se presenta como una herramienta tecnológica que puede recopilar información del estudiante y adaptar la instrucción a sus necesidades (Zarandi et al., 2012). Específicamente, un sistema tutor inteligente afectivo (Affective Tutoring System, ATS) es un sistema que se adapta a las emociones presentadas por el estudiante durante la sesión interactiva.

En esta investigación, se analizó el uso de un ATS para apoyar el aprendizaje matemático de los estudiantes en el contexto mexicano, mediante la adaptación del esquema de modelos propuesto por (Cruces & De Arriaga, 2000), tomando en cuenta el estado emocional del estudiante durante el proceso de aprendizaje, espe-

cialmente cuando se presenta ansiedad matemática. Con este estudio, se pretende contribuir en el desarrollo de metodologías innovadoras para la enseñanza de las matemáticas que puedan mejorar el aprendizaje y el rendimiento de los estudiantes en México.

1.1 Justificación

La educación matemática en México ha sido objeto de estudio en la literatura de la didáctica matemática debido a los problemas de deficiencias en el aprendizaje que se presentan desde los niveles básicos, y que tienen un impacto evidente en los niveles medio y superior. En este contexto, se ha propuesto la utilización de herramientas computacionales, como los ATS, para personalizar el aprendizaje y mejorar el desempeño académico de los estudiantes (Avila, 2016; Benítez, 2015).

Sin embargo, a pesar de la utilidad de los ATS en la atención de problemas emocionales en el aprendizaje de las matemáticas, como la ansiedad matemática, su implementación aún se encuentra poco formalizada en el ámbito educativo en México. Esto se debe, en parte, a la falta de vinculación entre el desarrollo y las aplicaciones de los ATS en contextos no computacionales. En consecuencia, se han desaprovechado las ventajas de la tecnología orientada al aprendizaje para atender problemas específicos del proceso educativo.

En este sentido, el presente proyecto tiene como objetivo contribuir a la extensión de las aplicaciones educativas de los ATS en el contexto mexicano y al aprovechamiento de los recursos tecnológicos, para brindar un proceso de aprendizaje personalizado a medida de las necesidades particulares de cada estudiante. Con el análisis del uso de un ATS en apoyo al aprendizaje matemático en estudiantes de nivel superior en una universidad pública de la ciudad de Puebla, México,

se busca generar nuevas perspectivas en el uso de la tecnología en la educación y promover un enfoque centrado en el estudiante para mejorar su desempeño académico y emocional.

1.2 Planteamiento del problema

El proceso de aprendizaje no sólo se asocia al contexto cognitivo del estudiante, sino a otros factores como su personalidad y sus emociones. Dentro del aula, el profesor influye en el estado emocional de los estudiantes y esto, a su vez, en la efectividad del proceso (Mohanan et al., 2017). Sin embargo, cada persona experimenta una reacción diferente a una misma situación; por lo que, la toma de decisiones con respecto a las actividades pedagógicas, contenido temático, y presentación de la estrategia de aprendizaje, no tendrá el mismo efecto para todo un grupo de trabajo.

Asimismo, es importante considerar el impacto del contexto socioemocional en el proceso de aprendizaje. Los estudiantes no solo enfrentan desafíos académicos, sino que también están influenciados por factores externos como su entorno familiar, social y cultural, e incluso económico, que pueden impactar de forma significativa en su bienestar emocional y en su capacidad para aprender.

Una particularidad de los trastornos específicos de aprendizaje y de las deficiencias en el área de la didáctica matemática es la influencia que tiene el estado afectivo en el proceso. La Ansiedad Matemática es un ejemplo de una emoción persistente en los estudiantes que enfrentan dificultades para llevar a cabo cualquier tipo de problema que implique el uso de conocimientos matemáticos (Castro-Cañizares et al., 2009). Entre las características de su tratamiento de forma tradicional, se encuentra la importancia de fomentar la motivación y disminuir la ansiedad y la frustración por medio del aprendizaje personalizado (De La Cruz Soto, 2019).

Por otro lado, el uso de la tecnología en el proceso de aprendizaje, especialmente cuando se trata de la personalización del mismo, nos permite reconocer y responder a distintos factores particulares de los usuarios, tales como el estado afectivo en un momento específico. Es importante destacar que la implementación de estrategias pedagógicas personalizadas puede ser fundamental para abordar las necesidades específicas de cada estudiante. Esto implica no solo adaptar el contenido y la metodología de enseñanza, sino también brindar un apoyo emocional adecuado que contribuya a reducir las barreras para el aprendizaje. La combinación de estrategias tradicionales y herramientas tecnológicas puede ser clave para mejorar la efectividad del proceso de enseñanza y aprendizaje en el contexto actual. En este sentido, el uso de herramientas tecnológicas que permitan monitorear el progreso del estudiante y ajustar el enfoque educativo en tiempo real es de utilidad dentro del proceso general de aprendizaje.

Por estas razones, en esta investigación se analizó el efecto de un ATS que personalice el proceso de aprendizaje utilizado en las sesiones interactivas, mediante la adaptación de la estrategia de aprendizaje en función del estado emocional del estudiante, para apoyar al tratamiento de las deficiencias de aprendizaje matemático, enfocándose principalmente en la Ansiedad Matemática como una manifestación emocional concomitante a estas deficiencias.

1.3 Preguntas de investigación

Ante la problemática descrita surgen la siguientes preguntas de investigación.

¿Qué características debe tener un ATS que apoye al tratamiento de las dificultades de aprendizaje matemático cuando se presenta Ansiedad Matemática?

¿Cuál es el efecto que tiene un ATS en el rendimiento académico de los estudiantes cuando se presenta Ansiedad Matemática?

1.4 Hipótesis

Existe una relación positiva entre las características específicas de un ATS que apoye al tratamiento de las dificultades de aprendizaje matemático, el aumento del rendimiento académico y la disminución de la Ansiedad Matemática en estudiantes con dificultades de aprendizaje matemático.

1.5 Variables

A partir de las preguntas de investigación se deducen las variables a considerar en el proyecto.

- **Variables dependientes**: Ansiedad matemática, rendimiento académico.

- **Variable independiente**: ATS (módulo del estudiante, módulo del dominio, módulo del tutor).

1.6 Objetivo general

Analizar el efecto que tiene un ATS que personalice el proceso de enseñanza, adaptando la estrategia de aprendizaje utilizada en las sesiones interactivas, cuando se presenta Ansiedad Matemática, en el rendimiento académico del estudiante.

1.7 Objetivos específicos

- Desarrollar una estrategia de medición del nivel de Ansiedad Matemática en un escenario interactivo a distancia.

- Elaborar un diseño instruccional que integre la situación afectiva del estudiante al modelo de la arquitectura de un ATS para el tema de la enseñanza de los tres usos de la variable (modelo 3UV) (Ursini & Trigueros, 1997).

- Establecer un modelo adaptativo mediante la integración de las estrategias de medición afectiva y el diseño instruccional a los componentes del ATS (Cruces & De Arriaga, 2000) mediante el desarrollo de un software interactivo.

- Evaluar el efecto que el uso de la herramienta tiene en el rendimiento académico de un conjunto de estudiantes de Licenciatura e Ingeniería en Ciencias de la Computación de una universidad pública del estado de Puebla.

1.8 Limitaciones

- La propuesta de investigación se enfoca en la atención a la Ansiedad Matemática en el aprendizaje de los tres usos de la variable (Modelo 3UV).

- En el aspecto tecnológico, se requiere de acceso a internet para poder hacer uso del ATS, debido a la implementación y requerimientos de software.

- El conjunto de emociones estudiadas es limitado. En primera instancia, se estudia la ansiedad aunada a niveles de gozo y aburrimiento.

- La validación de la herramienta se llevó a cabo con una muestra acotada, en una población con características demográficas similares, por lo que, la efectividad de la estrategia es contextual y no puede generalizarse más allá del perfil de los participantes que conforman la población accesible.

1.9 Línea de investigación

El presente proyecto doctoral se enmarca en dos líneas de investigación, en acuerdo con las actualizaciones realizadas en el programa de estudios del Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos. Hasta el 2023, la línea de investigación correspondiente fue la de Multimedia y Desarrollo Educativo. A partir de este periodo, el proyecto correspondió al Desarrollo Tecnológico e Innovación en los sistemas y ambientes educativos. A continuación, se describe cada una de ellas y la aportación del proyecto para las mismas.

1.9.1 Multimedia y desarrollo educativo

En esta línea de generación y/o aplicación del conocimiento se analizarán las variables psicosociales que intervienen en los ambientes educativos presenciales y virtuales, los procesos de desarrollo cognoscitivo, afectivo y social que contribuyen en el desempeño de estudiantes, docentes y directivos. De igual forma, se estudiarán las aportaciones de la tecnología educativa en los procesos de la virtualización educativa, en el movimiento educativo abierto, el desarrollo de software, simuladores y laboratorios educativos; así como el que incidan en la calidad de los sistemas y ambientes educativos.

En esta línea se incluyen proyectos específicos relacionados con:

- Desarrollo, implementación y evaluación de materiales y recursos educativos digitales

- Construcción y administración de repositorios y plataformas educativas

- Caracterización de los factores psicoeducativos y sociales de los sistemas y ambientes educativos

Esta investigación se relaciona con el desarrollo e implementación de materiales y recursos educativos digitales. Con el sistema tutor afectivo, se pretende hacer uso de recursos digitales multimedia que tengan variaciones a medida que el usuario final lo requiera. Así mismo, el sistema corresponde a una plataforma educativa de auto aprendizaje y refuerzo del aprendizaje en el aula.

1.9.2 Desarrollo tecnológico e innovación en los sistemas y ambientes educativos.

La finalidad de esta LGAC es ampliar las fronteras del conocimiento en el campo de los Sistemas y Ambientes Educativos, a través de proyectos de investigación relacionados con el desarrollo de aplicaciones tecnológicas innovadoras, como elemento transformador del aprendizaje. En esta línea se incluyen proyectos relacionados con:

- Infraestructura tecnológica y conectividad.

- Virtualización de la educación.

- Nuevas estrategias y sistemas interactivos pedagógicos (aula invertida, gamificación, realidad aumentada, simulación, entre otras).

- Herramientas, métodos y técnicas en ciencias para el aprendizaje (machine learning, minería de datos, big data, inteligencia artificial, robótica, entre otros).

- Modalidades educativas (e-b-m learning).

- Usabilidad pedagógica y experiencias de usuarios de la tecnología.

- Desarrollo, implementación y evaluación de materiales y recursos educativos digitales.

- Construcción y administración de repositorios y plataformas educativas.

- Competencias mediáticas e informacionales para el aprendizaje.

Dentro de esta línea de investigación, el proyecto de tesis tiene una aportación como una nueva estrategia y sistema interactivo pedagógico. El sistema tutor afectivo es un sistema interactivo que personaliza el aprendizaje y se adapta al contexto educativo. También, se considera una herramienta que hace uso de la inteligencia artificial para objetivos educativos, y que puede ser utilizado dentro de las modalidades e-learning y b-learning. Finalmente, el proyecto reporta la experiencia del usuario ante el sistema tutor afectivo, por medio de una evaluación de usabilidad con usuarios.

1.10 Capitulado de la tesis

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema tutor inteligente que considere el estado emocional del estudiante en el proceso de aprendizaje de las matemáticas, mediante la personalización del proceso educativo y el uso de herramientas de cómputo afectivo. En este sentido, la estructura de esta tesis se organiza en varios capítulos para abordar de manera sistemática el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo 2, se presenta el estado del arte en el que se realiza una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre los problemas del aprendizaje matemático y la importancia de incorporar la dimensión afectiva en el proceso educativo. Asimismo, se exponen los avances y las necesidades que aún persisten en el campo de la educación personalizada mediante sistemas tutores inteligentes.

En el Capítulo 3, se describe el marco teórico que fundamenta esta investigación. En primer lugar, se define el concepto de personalización del proceso de aprendizaje y se profundiza en los problemas didácticos que se han identificado como recurrentes en el área de las matemáticas. Además, se explica en detalle el cómputo afectivo, los sistemas inteligentes y la teoría de la multimedia educativa, que son las herramientas tecnológicas que se utilizarán en este proyecto.

El Capítulo 4 aborda la metodología utilizada para el desarrollo del sistema tutor inteligente. Se explica el marco de referencia seleccionado y se detallan los objetivos y requerimientos del sistema interactivo. Además, se muestra la integración de la parte pedagógica en el proceso de desarrollo de manera secuencial y se describen los modelos de tareas, procesos e interfaces abstractas que se utilizaron para la creación del sistema tutor. Finalmente, se presentan los resultados parciales obtenidos en cada fase del proceso de desarrollo.

En el Capítulo 5, se muestran los resultados de la investigación, que incluyen la descripción detallada del sistema tutor inteligente desarrollado y los datos obtenidos en la recolección de información a través de un estudio de evaluación con usuarios. Además, se presentan los resultados de las pruebas pedagógicas y de los instrumentos aplicados en la prueba, lo que permitió conocer la efectividad del sistema en el aprendizaje de las matemáticas.

Por último, en el Capítulo 6, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro. Se resumen los procesos llevados a cabo, se mencionan los objetivos alcanzados, las aportaciones de este proyecto y las propuestas que han surgido a partir del desarrollo de este trabajo. Asimismo, se plantean las líneas de investigación futuras para mejorar el sistema tutor y su efectividad en la personalización del proceso de aprendizaje en las matemáticas.

2 Estado del arte

En esta investigación se abordan dos aspectos fundamentales que subrayan la importancia de los sistemas tutores afectivos en el ámbito del aprendizaje. En primer lugar, se realiza un análisis exhaustivo de la literatura actual referente a las tendencias de investigación en sistemas tutores afectivos, los cuales representan una herramienta tecnológica destinada a personalizar la experiencia de enseñanza y aprendizaje. Esta revisión revela la creciente demanda de herramientas educativas adaptables y sensibles a las necesidades individuales de los estudiantes, enfocadas en mejorar tanto la eficacia como la experiencia del proceso educativo.

Por otro lado, se enfatiza la urgencia de abordar las problemáticas educativas, especialmente en el ámbito de la enseñanza de las matemáticas. Esta disciplina enfrenta desafíos persistentes en cuanto a la búsqueda de un aprendizaje significativo y efectivo. La complejidad inherente a las matemáticas, combinada con factores como la ansiedad y las dificultades de comprensión, exige una particular atención y soluciones innovadoras.

Además, la identificación de estas dificultades resalta la necesidad de estrategias educativas más dinámicas y personalizadas que se ajusten a las distintas necesidades y estilos de aprendizaje de los estudiantes, asegurando un desarrollo más equitativo y efectivo de las habilidades matemáticas. Los sistemas tutores afectivos, al ofrecer retroalimentación personalizada y adaptativa, tienen el potencial de solventar los obstáculos tradicionales en la enseñanza de las matemáticas, fomentando un entorno de aprendizaje más inclusivo y efectivo para todos los estudiantes.

2.1 Tendencias en la investigación de ITS y ATS

Se realizó una revisión sistemática de los estudios de investigación en torno a los sistemas tutores inteligentes (ITS) que integran el estado afectivo del estudiante en el proceso de aprendizaje, además del contexto cognitivo. El proceso general se muestra en la figura 1.

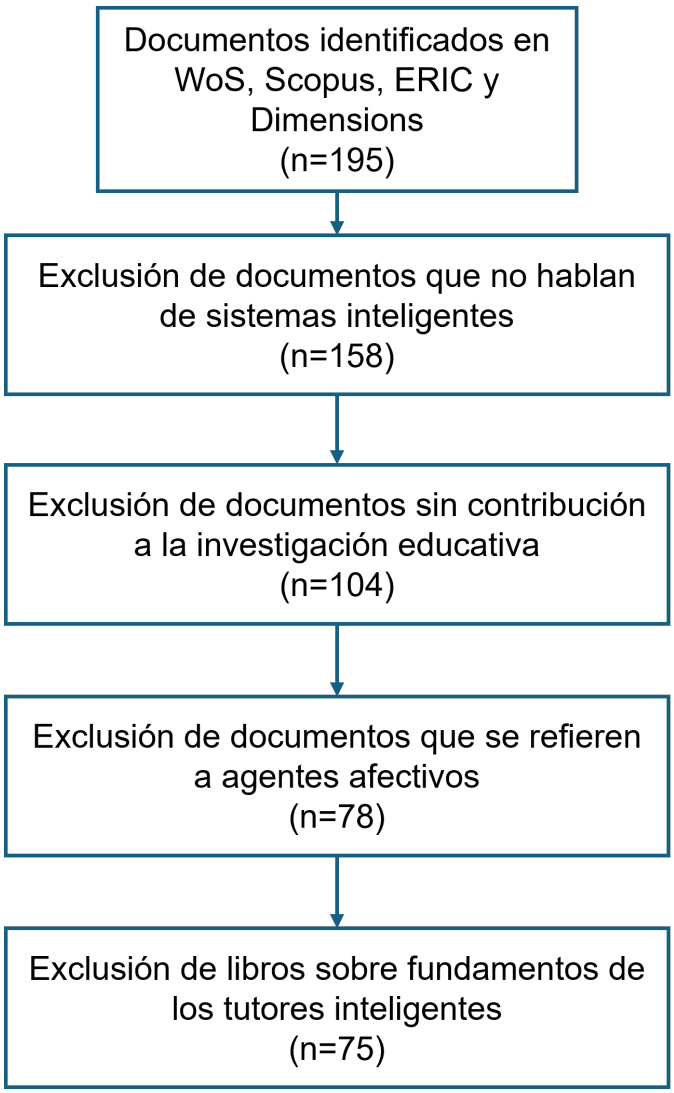


Figura 1: Proceso de la revisión sistemática sobre sistemas tutores afectivos.

Se definieron tres descriptores principales: *learning outcomes, intelligent tutoring systems, y emotions*. Las bases de datos utilizadas son Scopus, Web of Science, ERIC y Dimensions. La consulta ingresada corresponde a una misma expresión

lógica,*("learning outcomes" AND ("Intelligent tutoring system" OR "ITS" OR "intelligent tutor" OR "cognitive tutor") AND (emotion OR emotions OR affection)).*

Se realizó un filtrado de los documentos tomando en cuenta cuatro criterios de exclusión con relación al contenido del estudio. Con el conjunto resultado de este proceso se llevó a cabo un análisis para responder a las siguientes preguntas, (1) ¿Cuáles son las principales fuentes de información con relación a los ITS que integran las emociones en el proceso de aprendizaje?, (2) ¿Quiénes son los principales autores con relación al problema específico de los tutores inteligentes afectivos?, (3) ¿Cuáles son las palabras clave más relevantes en relación con la evaluación del aprendizaje mediado por un ITS?, (4) ¿Cuáles son las principales disciplinas en las que se ha hecho investigación sobre los ATS?, (5) ¿Cuáles son los hallazgos más relevantes en la integración de las emociones dentro de los ITS?, (6) ¿Cuál es el efecto en el proceso de aprendizaje del uso de los ATS?, (7) ¿Cuál es el estado de la investigación de los ATS en México?

En la primera etapa de la revisión sistemática, se recopilaron un total de 195 documentos publicados entre 2001 y 2020, obtenidos de diversas bases de datos como Scopus, Web of Science, ERIC y Dimensions. La tendencia de producción evidencia un aumento progresivo a lo largo del período, destacando picos en los años 2010, 2013 y 2019. Estos documentos se distribuyen en diferentes tipos, donde los artículos de revista representan el 45.1 %, seguidos por los artículos de conferencia con un 40 %, entre otros (Figura 2).

Para el análisis cualitativo, se filtraron los documentos según criterios específicos, eliminando aquellos que no se referían directamente a tutores como herramientas tecnológicas o que no abordaban la temática de forma pertinente. Este proceso resultó en la selección de 75 documentos para un análisis más detallado. Se llevó a cabo un análisis comparativo de 50 de estos estudios, considerando indicadores de

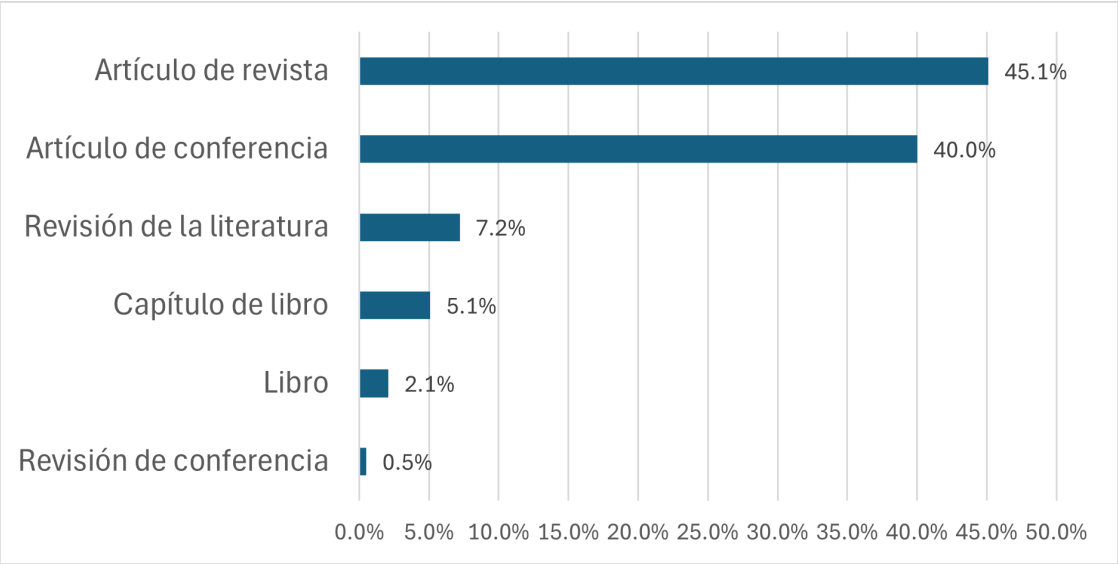


Figura 2: Distribución de los documentos por tipo.

relevancia como la clasificación documental, el título y el resumen del artículo. La Tabla 1 resume el análisis realizado a los 50 artículos finales.

Tabla 1: Comparación de las características de integración de emociones en los ITS

Referencia	**Modelo de emociones**	**Emociones relevantes en el estudio**	**Etapas de procesamiento de emociones**	**Técnicas de procesamiento**	**Evaluación**	**Interv. docente**
(Alyuz, 2016)	Modelo OCC	euforia, calma, aburrimiento y confusión	Identificación	Reconocimiento facial de emociones y seguimiento de interacción	Automático	No
(Andres et al., 2019)	Modelo de (D'Mello & Graesser, 2012)	aburrimiento y gozo	Análisis	Libre de sensores	Cuestionarios	No
(Arguedas et al., 2016)	Plutchick	Ira, disgusto, miedo, alegría, tristeza, sorpresa y confianza	Identificación	Análisis semántico de textos	Cuestionarios	No
(Arguel et al., 2019)	Pekrun, emociones epistémicas (D'Mello et al., 2010)	Confusión	Identificación	Reconocimiento facial de emociones y seguimiento de interacción	Auto-reporte	No
(Arroyo et al., 2014)	Ekman	Confianza, interés, frustración	Identificación	Libre de sensores	Auto-reporte	No
(Arroyo et al., 2016)	No se especifica	Frustración, confianza, ansiedad, interés, aburrimiento y euforia	Análisis y Adaptación	Libre de sensores	Auto-reporte	No

(Ashwin & Guddeti, 2020)	Ekman y emociones epistémicas	Compromiso, felicidad, confusión, aburrimiento	Identificación, Análisis y Adaptación	Reconocimiento facial, postura corporal y gestos de la mano	Cuestionarios	No
(Aslan et al., 2019)	Modelo circumplejo de emociones	Emociones positivas, negativas y neutrales (en general)	Identificación	Reconocimiento facial	Etiquetado por expertos	No
(Baldassarri et al., 2015)	Ekman	Sorpresa, alegría, ira, disgusto, temor, tristeza	Identificación	Reconocimiento facial de emociones	Cuestionarios	Sí
(Bosch & D'Mello, 2013)	No se especifica	Emociones que propicien el aprendizaje (no se especifica)	Identificación, Análisis y Adaptación	Reconocimiento facial	Cuestionarios	No
(Cabada et al., 2015)	Ekman	Alegría, sorpresa y escepticismo	Adaptación	Reconocimiento facial	Automático	No
(Chao et al., 2014)	Ekman y Pekrun	Alegría, tristeza, ira, sorpresa, frustración, incertidumbre, disgusto, temor	Identificación	Análisis semántico de textos	Cuestionarios	No
(Chaouachi & Frasson, 2012)	No se especifica	Interés, alegría, confianza, relajación, confusión, frustración, aburrimiento, desinterés	Identificación y Análisis	Electroencefalograma	Auto-reporte	No
(D'Mello et al., 2010)	Ekman y emociones epistémicas	Ira, disgusto, miedo, alegría, tristeza, sorpresa, ansiedad, aburrimiento, confusión, curiosidad, frustración	Identificación	Reconocimiento facial	Auto-reporte	No

(Duffy & Azevedo, 2015)	No se especifica	Motivación	Análisis	Libre de sensores	Cuestionarios	No
(Fotopoulou et al., 2020)	Competencias sociales y emocionales	Automotivación, autoestima	Análisis y Adaptación	Seguimiento de interacción	Automático	No
(Ghaleb et al., 2018)	Teoría de Flujo	Aburrimiento, compromiso, frustración	Identificación	Seguimiento de interacción	Auto-reporte	No
(Graesser et al., 2017)	Modelo de (D'Mello & Graesser, 2012)	confusión	Análisis y Adaptación	Diálogo afectivo (triálogo)	Automático	No
(Grafsgaard et al., 2013)	No se especifica	Compromiso y frustración	Identificación	Reconocimiento facial	Cuestionarios y automático	No
(Gudino-Penaloza et al., 2009)	No se especifica	Gozo, compromiso, interés	Adaptación	Libre de sensores	Cuestionarios	No
(Harley et al., 2016)	Pekrun	Gozo y aburrimiento	Identificación	Seguimiento ocular, análisis de audio e interacción verbal	Auto-reporte	No
(Hull & du Boulay, 2015)	Teoría de la motivación de Schunk (2007)	Motivación	Análisis	Seguimiento de interacción	Cuestionarios	No

(Hussain et al., 2011)	No se especifica	Frustración, confusión, compromiso, gusto, sorpresa, aburrimiento, curiosidad	Identificación	Electroencefalograma, electrocardiograma, electromiograma, respiración y respuesta galvánica de la piel	Auto-reporte	No
(Jimenez et al., 2018)	No se especifica	Motivación	Adaptación	Diálogo afectivo	Escala likert	No
(Joshi et al., 2019)	No se especifica	Confusión, interés, confianza	Identificación y Análisis	Reconocimiento facial de emociones	Automático	No
(Lajoie et al., 2021)	Ekman, Pekrun y teoría de la motivación de Schunk (2007)	Ira, disgusto, felicidad, tristeza, miedo y sorpresa	Análisis	Reconocimiento facial	Automático	No
(Lehman et al., 2012)	Emociones epistémicas	Confusión	Análisis	Libre de sensores	Auto-reporte	No
(Leyzberg et al., 2014)	No se especifica	Compromiso	Adaptación	Diálogo afectivo	Escala likert	No
(Liu et al., 2013)	No se especifica	Confusión y frustración	Identificación y Análisis	Reconocimiento facial, postura corporal y seguimiento de interacción	Automático	No
(Z. Long et al., 2019)	Emociones epistémicas	Confusión	Adaptación	Libre de sensores	Auto-reporte	No
(Y. Long & Aleven, 2017)	No se especifica	Gozo	Identificación	Libre de sensores	Cuestionarios	No

(Magner et al., 2010)	No se especifica	Euforia, aburrimiento, entretenimiento	Análisis	Libre de sensores	Escala likert	No
(Marco-Giménez et al., 2016)6	No se especifica	Satisfacción y motivación	Identificación, Análisis y Adaptación	Electroencefalograma y reconocimiento facial	Automático	No
(McQuiggan et al., 2010)	Ekman y emociones epistémicas	Ira, ansiedad, aburrimiento, gusto, confusión, entusiasmo, miedo, flujo, frustración y tristeza	Identificación y Adaptación	Libre de sensores	Auto-reporte	No
(Muldner et al., 2015)	Pekrun	Aburrimiento y falta de entusiasmo	Análisis y adaptación	Libre de sensores	Cuestionarios, auto-reporte y escala likert	No
(Muñoz et al., 2010)	Pekrun	Emociones de logro (motivación)	Identificación	Libre de sensores	Cuestionarios	No
(Padron-Rivera et al., 2018)	Modelo de (D'Mello & Graesser, 2012)	Frustración y confusión	Identificación	Reconocimiento facial	Automático	No
(Pardos et al., 2013)	Diversas teorías y observaciones empíricas	aburrimiento, frustración, concentración, confusión	Análisis	Seguimiento de interacción, reconocimiento facial y corporal	Automático	Sí
(Pedroza-Méndez et al., 2019)	No se especifica	Motivación	Adaptación	Libre de sensores	Cuestionarios	Sí

(Pham & Wang, 2018)	No se especifica	Aburrimiento, confusión, curiosidad, frustración, felicidad	Identificación	Reconocimiento facial y fotopletismografía	Escala likert	No
(Price et al., 2018)	Pekrun	Confusión, frustración, ira, ansiedad	Análisis y Adaptación	Libre de sensores	Auto-reporte	No
(Richey et al., 2019)	Modelo de (D'Mello & Graesser, 2012),	Confusión y frustración	Análisis	Seguimiento de interacción	Etiquetado por expertos	Sí
(Rodrigo et al., 2012)	No se especifica	Aburrimiento, confusión, compromiso	Adaptación	Diálogo afectivo	Cuestionarios y escala likert	No
(Ruiz et al., 2020)	Pekrun, modelo de Arroyo (2009)	Interés y frustración	Identificación	Seguimiento de interacción	Escala likert	No
(Strain et al., 2011)	Emociones centradas en el aprendizaje	frustración, ansiedad y aburrimiento	Análisis y adaptación	Reconocimiento facial	Auto-reporte	No
(Taub et al., 2020)	Pekrun, modelo de D'Mello y Graesser (2012)	Alegría, confusión y frustración	Identificación y análisis	Reconocimiento facial y actividad electrodérmica	Cuestionarios	No
(Vail et al., 2016)	No se especifica	Frustración y compromiso	Identificación y Análisis	Reconocimiento facial y corporal	Cuestionarios, auto-reporte	No

(Wang & Lin, 2018)	Ekman	Emociones negativas (no especifica)	Identificación, Análisis y Adaptación	Análisis semántico de textos y Reconocimiento facial de emociones	Cuestionarios	No
(Woolf et al., 2010)	Ekman	Motivación, confianza, frustración, euforia	Adaptación	Libre de sensores	Cuestionarios	No
(Zakharov et al., 2007)	No se especifica	Estrés, ansiedad y frustración	Identificación	Reconocimiento facial, señales fisiológicas	Automático	No

Los resultados del análisis bibliométrico proporcionan información valiosa sobre las principales fuentes de publicación en el campo de los sistemas tutores afectivos, así como los autores más productivos y los conceptos más relevantes en la evaluación del aprendizaje mediado por estos sistemas. Además, se destaca la diversidad de disciplinas involucradas en la investigación sobre los sistemas tutores afectivos, con una predominancia en las ciencias computacionales, seguidas de las ciencias sociales y las matemáticas. Este análisis brinda una visión integral de la investigación en este campo, identificando tendencias, áreas de enfoque y contribuciones significativas a lo largo del tiempo.

Los resultados de esta revisión sistemática se encuentran en (Castillo Avila et al., 2021). Entre los hallazgos relevantes se encontró que, el estudio e interés de la comunidad científica sobre los ATS es creciente como se muestra en la Figura 3. Entre el año 2001 y el 2020, el número de publicaciones ha incrementado, con una leve disminución en 2011 y 2014, que es consistente con la tendencia en el estudio del aprendizaje personalizado (Xie et al., 2019). En el análisis cualitativo, se realizó una exploración detallada sobre la integración de las emociones en los sistemas tutores inteligentes (ITS). Específicamente, la investigación sobre los ATS se ha desarrollado desde tres grandes enfoques: la identificación de las emociones en el aprendizaje, el procesamiento de las emociones, y por último, la explicación de las emociones en el aprendizaje mediado por tecnología.

2.1.1 Identificación de las emociones en el aprendizaje

Existe un conjunto de estudios tempranos orientados a la identificación de las emociones en el aprendizaje a partir del uso de ITS (D'Mello et al., 2010; Duffy et al., 2018; Lehman et al., 2012). Los fundamentos de la identificación de emociones en los tutores inteligentes son los de la teoría de las seis emociones básicas (ira, disgusto, miedo, alegría, tristeza y sorpresa) (Ekman & Keltner, 1997), y el modelo OCC

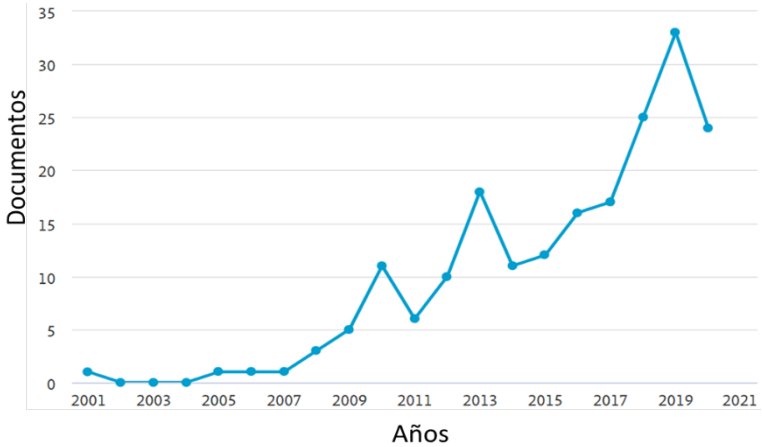


Figura 3: Publicaciones por año en relación con los Sistemas Tutores Inteligentes

(Ortony et al., 1988) que contempla 14 emociones secundarias. En el contexto educativo, se ha propuesto una clasificación de emociones académicas (Pekrun, 1992) que propone cuatro emociones positivas (alegría, esperanza, orgullo y alivio) y cuatro negativas (aburrimiento, ansiedad, miedo y desesperanza). En 2010, D'Mello et al. identificaron 13 emociones que clasificaron en 3 grupos (D'Mello et al., 2010). En la tabla 2 se muestra la clasificación propuesta por D'Mello.

Tabla 2: Clasificación de emociones identificadas por D'Mello

Categoría	**Emociones**
Rutinarias	Aburrimiento Confusión Curiosidad Frustración
Esporádicas	Ansiedad Felicidad
Excepcionales	Rechazo Eureka Ira Disgusto Miedo Tristeza Sorpresa

No obstante, se suele referir al estado emocional en relación a su valor. Es decir, si la emoción se percibe como positiva o negativa y, a su vez, si la emoción es activa o pasiva (Mayer, 2020; Russell, 1983). De manera similar, en (Duffy et al., 2018) se identificaron el placer, como la emoción positiva activa más recurrente, y

la ansiedad, como la emoción negativa activa más recurrente, en un escenario de estudiantes de medicina. A su vez, en (Lehman et al., 2012), se trabaja la identificación de la confusión en periodos de interacción cortos con AutoTutor (Graesser et al., 1999).

2.1.2 Procesamiento de las emociones en un ITS

Otro enfoque ha sido el desarrollo de métodos para el procesamiento automático de las emociones identificadas. Al respecto, los métodos existentes en la literatura se dividen en dos categorías; aquellos que adquieren, utilizan y procesan el lenguaje natural del estudiante durante la sesión, y aquellos que toman otros indicadores presentes en el proceso interactivo a corto plazo.

Desde el punto de vista computacional, existen muchas técnicas y herramientas para adquirir información sobre el estado emocional de una persona. El cómputo afectivo es una línea de investigación dentro de las ciencias computacionales, en la que se analiza y se desarrolla tecnología cuyo comportamiento es influenciado por las emociones de los usuarios. Particularmente, en el desarrollo de ITS afectivos se ha hecho uso de indicadores directos, como cuestionarios, e indirectos como seguimiento de gestos y movimientos, para adquirir información relevante, tanto antes, como durante y después de las sesiones interactivas que un estudiante tiene con un sistema tutor. Más allá de las diferentes categorías en cuanto a los datos adquiridos, Mahmoud hace una clasificación de las herramientas de adquisición utilizadas en el contexto de los ITS, que distingue aquellas que adquieren datos de comportamiento de las que adquieren datos psicológicos, ya sea utilizando sensores o métodos de auto reporte de datos (Mahmoud, 2019). Sobresalen los métodos de auto reporte por su bajo costo de implementación. Se ha hecho uso de herramientas verbales como cuestionarios y entrevistas o indicadores independientes del lenguaje, como escalas Likert. Java sensei (Cabada et al., 2015) y SentBuk (Martin et al., 2012)

hacen uso del análisis de comentarios de retroalimentación para detectar las emociones del usuario después de las sesiones interactivas.

Por otro lado, el uso de sensores como los electroencefalogramas, electrocardiogramas, seguidores del ojo e incluso cámaras de video, han permitido innovar en el análisis de la información emocional de los estudiantes. El reconocimiento de emociones a través del análisis facial se ha utilizado recientemente con la ventaja de la facilidad de implementación con teléfonos inteligentes o computadoras portátiles. El auge de la inteligencia artificial ha permitido el uso de modelos sofisticados en el análisis de emociones. El análisis del discurso, ya sea textual o verbal, utilizando sistemas de aprendizaje de máquina ha sido aplicado dentro de muchos dominios, abriendo una oportunidad al campo de los ITS.

2.1.3 Explicación de las emociones en el aprendizaje mediado por tecnología

Un último enfoque se ha dado en cuanto a la explicación de las emociones en el contexto educativo mediado por tecnología (Mayer, 2020). Este último es el más reciente y con un número menor de contribuciones hasta la fecha. Algunos trabajos como el de Price en (Price et al., 2018), describen el papel que juegan las emociones negativas durante el uso de un tutor inteligente, pero no lo relacionan con el desempeño educativo. De igual forma, la evaluación de la efectividad de los ITS afectivos, más allá del aspecto tecnológico, se ha dado en relación con la percepción de los usuarios sobre los mismos. Sin embargo, en el desarrollo de ATS, uno de los referentes más grandes es la teoría cognitiva de la multimedia para el aprendizaje (Mayer, 2003), que relaciona el estímulo derivado del contenido multimedia con la creación de modelos en la memoria de trabajo y la integración de conocimientos previos en la memoria a largo plazo.

Tomando en cuenta la distribución de estudios con respecto a los enfoques de investigación, se hace evidente una necesidad de probar el efecto en el proceso de aprendizaje en diferentes contextos. Esto, aunado a que el 41 % de las investigaciones provienen del área de ciencias computacionales, y a que las revistas y editoriales con mayor número de publicaciones, tienen un interés en las contribuciones tecnológicas, principalmente en el reconocimiento automático de emociones utilizando modelos de inteligencia artificial.

2.1.4 Los sistemas tutores afectivos en México

Dentro de las bases de datos consultadas, el porcentaje de registros que provienen de países latinoamericanos es significativamente bajo. No obstante, en la revisión sobre las tendencias de los sistemas tutores inteligentes de Han (Han et al., 2019), Chile es el país latinoamericano con mayor producción en la investigación de los ITS, ubicado en el lugar 12 de 50 países en cuanto al desarrollo de la investigación en este ámbito. Argentina ocupa la posición 15, Brasil en el lugar 19, Costa Rica en el lugar 22 y México está en el lugar 34, siendo el último país latinoamericano que aparece.

Entre los trabajos de investigación en México que destacan en las bases de datos, específicamente en el área de los sistemas tutores afectivos, el más reconocido es Fermat (Cabada et al., 2012), un tutor de matemáticas que se encuentra dentro de una red social que utiliza datos verbales y no verbales para identificar las emociones presentes en la sesión interactiva y, a su vez, da respuesta a través de un agente afectivo. En la Figura 4, se muestra la interfaz de Fermat cuando un agente afectivo está dando una instrucción guiada al estudiante. En (Jimenez et al., 2018), los autores presentan un sistema de retroalimentación con características afectivas que se integra a un tutor inteligente para la enseñanza de programación orientada a objetos, con la intención de analizar el efecto en la confianza que tienen

los estudiantes cuando reciben mensajes positivos durante el proceso interactivo. Gudino-Penaloza (Gudino-Penaloza et al., 2009), implementa la adaptación de un tutor inteligentes a las necesidades de los estudiantes de preparatoria en un curso de probabilidad y estadística. Padrón-Rivera (Padrón-Rivera et al., 2016), realiza un análisis de la relación entre las unidades de acción y los estados afectivos que presentan los estudiantes de un curso de matemáticas guiado por un tutor inteligente. En (Pedroza-Méndez et al., 2019), los autores hacen uso de técnicas de gamificación en el diseño de un tutor inteligente de apoyo en la resolución de problemas de álgebra, con el objetivo de hacer más placentera la sesión interactiva y, al mismo tiempo, reducir la carga cognitiva del estudiante.

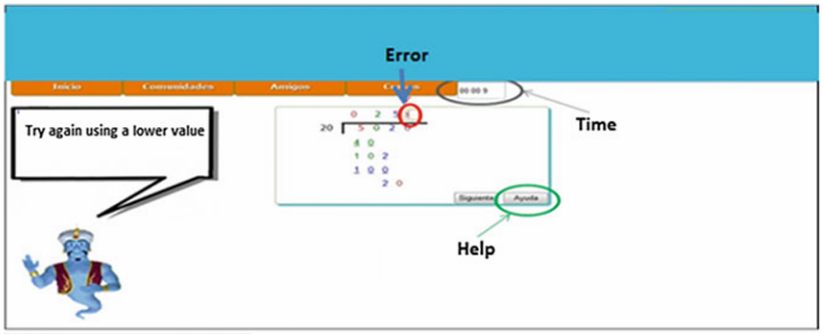


Figura 4: Interfaz de Fermat (Cabada et al., 2012)

2.2 Problemas en el aprendizaje matemático

Para el caso de la problemática de aprendizaje, se realizó una búsqueda tradicional de las investigaciones en torno a la didáctica matemática, las emociones en el aprendizaje y el aprendizaje personalizado. En la fase heurística, se revisaron 34 artículos de revista y conferencia, 3 reportes técnicos y 4 libros de fundamentos teóricos provenientes de las bases de datos Scopus, Dimensions, Redalyc y DIALNET. Durante la fase hermenéutica, los objetivos de análisis fueron: (1) conocer las problemáticas de aprendizaje matemático vigentes en México, (2) encontrar los fundamentos que relacionan las emociones con los procesos de aprendizaje, (3)

conocer las tendencias en la investigación de los trastornos de aprendizaje matemático y las estrategias actuales para su tratamiento.

2.2.1 Perspectivas y desafíos actuales en la enseñanza de las Matemáticas

La enseñanza de las matemáticas, en los diferentes niveles educativos en México, se aborda desde dos enfoques principales: La comprensión teórica y la eficiencia práctica. La comprensión teórica implica que los estudiantes no solo memoricen fórmulas y procedimientos, sino que también comprendan los fundamentos subyacentes y las conexiones entre los diferentes conceptos matemáticos. Por otro lado, la eficiencia práctica se refiere a la capacidad de los estudiantes para aplicar estos conceptos en situaciones reales y resolver problemas concretos utilizando el razonamiento lógico y las herramientas matemáticas pertinentes (Avila, 2016).

En cuanto a los niveles medio superior y superior de educación, existe una falta de consenso en la enseñanza de las matemáticas. Esto puede indicar una falta de definición en los objetivos de aprendizaje específicos, los contenidos del programa o los métodos de enseñanza más efectivos para estos niveles (INEE, 2018).

Además, a lo largo del tiempo se han observado diferentes perfiles de estudiantes en términos de habilidades matemáticas, lo que sugiere una desigualdad en la comprensión de los temas de alto nivel. Esto subraya la necesidad de abordar las brechas en la calidad de la educación matemática y garantizar una enseñanza equitativa y de calidad para todos los estudiantes.

En el sistema educativo mexicano actual, existe una carencia de medidas compensatorias para los estudiantes que presentan deficiencias en los conocimientos básicos (Vadillo, 2020). Además, las estrategias de aprendizaje a las que pueden

acceder, sin la guía de un docente, no aseguran la cobertura adecuada de los programas de estudio establecidos.

Un aspecto problemático es la falta de reconocimiento por parte de la Secretaría de Educación Pública de las deficiencias en el aprendizaje de las matemáticas como trastornos específicos. Esto implica que la mayoría de los estudiantes no reciben un diagnóstico ni un tratamiento pedagógico adecuado para abordar estas dificultades (Benedicto-López & Rodríguez-Cuadrado, 2019; Cantoral, 2016).

2.2.2 Estudio y tratamiento de la ansiedad matemática

La ansiedad matemática es una de las deficiencias de aprendizaje más relevantes que a menudo se presenta en conjunto con otras deficiencias. Aunque no hay un consenso en la definición formal, se describe, en términos simples, como aquellos sentimientos desagradables que dificultan la capacidad de lidiar con los números y matemáticas en una variedad de situaciones (O'Leary et al., 2017).

Se han identificado tres componentes que intervienen en la ansiedad matemática (Ramirez et al., 2018); un componente afectivo, relacionado con la presencia de emociones negativas como la frustración, desesperación e ira; un componente cognitivo, que se asocia a la disminución de la capacidad de la memoria de trabajo en presencia de estos pensamientos y, en consecuencia, una disminución de la eficiencia en la tarea matemática (Justicia-Galiano et al., 2016); y un componente conductual, que lleva al estudiante a ser pesimista, evitar actividades relacionadas con las matemáticas o a la deserción de cursos de esta área (Ashcraft & Krause, 2007; Hembree, 1988).

2.2.3 Medición de la ansiedad matemática

En la investigación alrededor de la ansiedad matemática es crucial el desarrollo de instrumentos válidos y confiables para su medición. Uno de los primeros trabajos en la evaluación de la ansiedad matemática consistió en la construcción de la Escala de Calificación de la Ansiedad Matemática (MARS) (Richardson & Suinn, 1972). La MARS es una escala de 98 ítems en la que los encuestados califican, en una escala tipo Likert de 1 a 5, el grado de ansiedad que sentirían en situaciones que incluyen matemáticas formales e informales y cotidianas. Algunas limitaciones de la escala MARS son el tiempo que requiere administrarla y su sistema de puntuación, ya que tiene una longitud extensa (Ashcraft & Krause, 2007). Por ello, la comunidad científica ha trabajado en la creación de varios instrumentos abreviados derivados de la escala MARS, como la Escala de Ansiedad Matemática de Fennema-Sherman (Fennema & Sherman, 1976), la Escala de Ansiedad hacia las Matemáticas de Sandman (Sandman, 1980), y la Escala Abreviada de Calificación de la Ansiedad Matemática (L. Alexander & Martray, 1989). Sin embargo, estas escalas no han sido probadas adecuadamente en cuanto a fiabilidad y validez (Hopko et al., 2003).

Entre las alternativas más robustas se encuentran el Inventario de Ansiedad Estado-Rasgo (STAI) (Spielberger et al., 1978), una escala de 40 ítems utilizada para medir la ansiedad de estado y de rasgo. Tiene una consistencia interna de buena a excelente (α = .86-.95) y una adecuada fiabilidad test-retest (Estado: r = 0,71- 0,76; Rasgo: r = 0,75- 0,86). La escala de miedo a la evaluación negativa (FNE) (Leary, 1983) evalúa las expectativas de evaluación negativa y tiene una alta consistencia interna (α = 0,94- 0,96). La desventaja de estos instrumentos coincide con la escala MARS en cuanto a la extensión y administración de su aplicación.

Una de las escalas más cortas para medir la ansiedad ante las matemáticas es

la Escala Abreviada de Ansiedad ante las Matemáticas (Hopko et al., 2003), que se desarrolló a partir del MARS-R y consta de sólo nueve ítems. Fue creada con el propósito de (a) desarrollar una medida breve de ansiedad matemática utilizando una muestra amplia y representativa; (b) evaluar su estructura factorial, consistencia interna, fiabilidad test-retest y validez convergente/divergente en una muestra independiente; y (c) confirmar la generalidad del modelo en una tercera muestra independiente. Un análisis factorial exploratorio demostró una sólida consistencia interna, fiabilidad test-retest y buena validez convergente/divergente con una muestra independiente. La Escala Abreviada de Ansiedad Matemática (Abreviated Math Anxiety Scale) (AMAS) ofrece un enfoque más conciso y válido para medir la ansiedad matemática.

La literatura en referencia a la problemática del aprendizaje matemático en México muestra que hay un amplio interés en abordar el problema de ansiedad matemática, así como encontrar la relación y el papel que tiene sobre el rendimiento académico del estudiante. Existe un área de oportunidad en el estudio de esta relación para poblaciones con características particulares, como es el caso de los estudiantes del nivel superior del estado de Puebla, en quienes se ven reflejadas las consecuencias de las deficiencias de aprendizaje matemático.

De igual manera, es necesario generar propuestas de intervención para la ansiedad matemática en donde se integren tanto el factor cognitivo como el factor afectivo; es decir, personalizando el proceso de aprendizaje a las necesidades del estudiante de manera integral. Una alternativa que se ha utilizado son los ATS, sin embargo, aún hay un vacío en la investigación sobre el efecto real que tienen estas herramientas en el aspecto educativo.

Tomando en cuenta estas observaciones, en este proyecto se pretende abordar el problema de la efectividad de los ATS sobre un objetivo de aprendizaje específico,

el rendimiento académico del estudiante cuando hay presencia de ansiedad matemática. Se propone adaptar las estrategias de aprendizaje utilizadas en la sesión, con base en la situación afectiva observada en el estudiante, apoyándose de las técnicas de inteligencia artificial de reconocimiento de emociones, para integrar el contexto afectivo y cognitivo a los componentes de un ITS y propiciar un escenario en el que el estudiante alcance un nivel óptimo en su desempeño, con fundamento en la teoría de flujo de las emociones (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014) y en la teoría cognitiva de la multimedia para el aprendizaje (Mayer, 2003).

3 Marco teórico

La evolución de los procesos de aprendizaje han generado la aparición de nuevas prácticas para reforzar y mejorar la efectividad de los mismos. El aprendizaje mediado por la tecnología se presenta como una solución efectiva para personalizar el proceso educativo, atendiendo a las necesidades y características individuales de los estudiantes. Sin embargo, se han identificado desafíos persistentes en el logro de un aprendizaje significativo y efectivo, especialmente en el área de las matemáticas, donde la ansiedad matemática puede ser un factor limitante en el desempeño académico.

En este contexto, se ha reconocido la importancia de las emociones en el aprendizaje y se ha propuesto la incorporación del estado emocional del estudiante en el diseño de sistemas de aprendizaje mediados por la tecnología. La teoría de la multimedia educativa de Mayer establece que la presentación de información a través de múltiples canales, como imágenes y sonido, puede reducir la carga cognitiva y mejorar el aprendizaje. Por otro lado, la teoría de flujo de Csikszentmihaiyi (figura 5) destaca la importancia de la relación entre la cognición y el afecto, proponiendo que un estado emocional positivo puede mejorar la calidad y eficacia del aprendizaje (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014).

Para abordar estos desafíos y lograr una personalización efectiva del proceso de aprendizaje, se han desarrollado sistemas tutores afectivos que utilizan el cómputo afectivo para adaptar el proceso de enseñanza a las necesidades emocionales del estudiante. A continuación, se describe la combinación de estas diferentes teorías que son la base del presente proyecto de investigación, que busca contribuir a la mejora del aprendizaje matemático, con énfasis en la reducción de la ansiedad matemática y la personalización efectiva del proceso educativo.

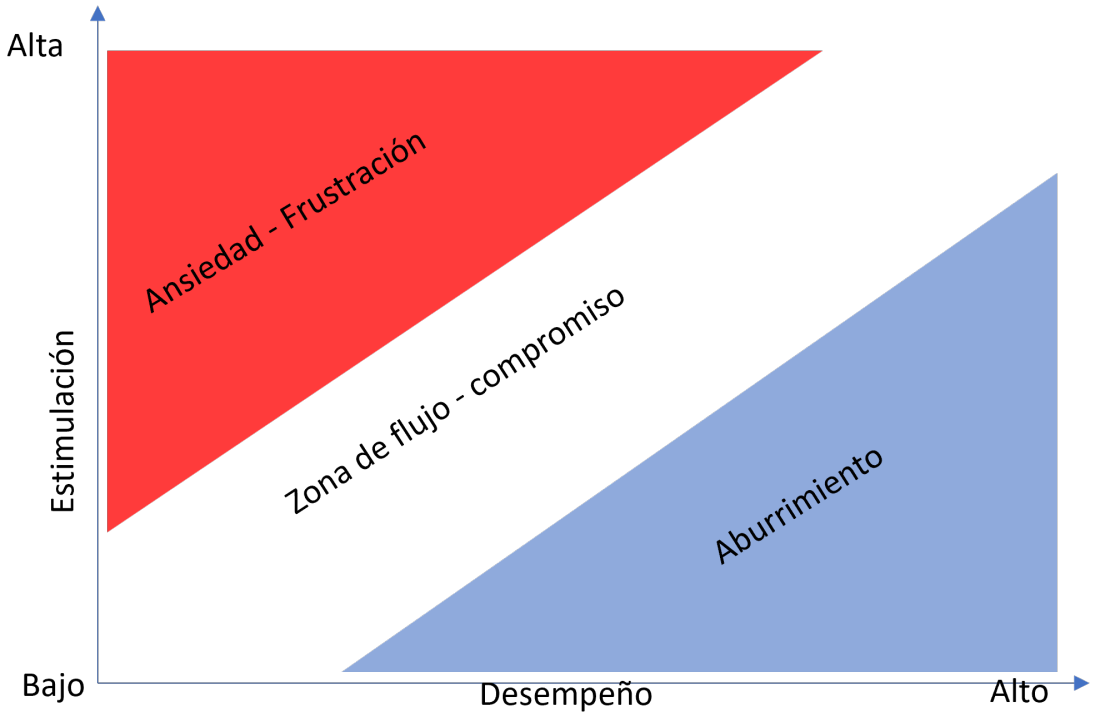


Figura 5: Relación entre cognición y afecto.

3.1 Aprendizaje matemático y el modelo 3UV

En matemáticas, una variable es un símbolo que representa un valor que puede variar en una expresión matemática o en una ecuación. La variable puede representar cantidades específicas, como el tiempo, la distancia o el precio de un producto, y su valor puede cambiar en diferentes situaciones o contextos. La comprensión de la variable es fundamental en el aprendizaje de diversas áreas de las matemáticas, como el álgebra, el cálculo, la estadística y la geometría. Una sólida comprensión de la variable permite a los estudiantes resolver problemas matemáticos de manera efectiva y aplicar conceptos matemáticos en situaciones del mundo real (Romero-Solano et al., 2023; Ursini & Trigueros, 1997).

Según diversos investigadores en educación matemática, la variable puede clasificarse en diferentes categorías o usos, dependiendo de cómo se utiliza en un contexto matemático específico.

El Modelo 3UV (los tres usos de la variable) es una propuesta teórica que divide el concepto de variable en tres usos principales: variable como incógnita, variable como número general y variable como función (Ursini & Trigueros, 1997). Cada uno de estos usos puede subdividirse en diferentes caracterizaciones que representan distintas capacidades de interpretación, simbolización y manipulación de la variable. Este modelo proporciona un marco conceptual para comprender la complejidad del objeto matemático de la variable y su diversidad de significados. No establece un orden jerárquico entre las caracterizaciones, pero cada una representa un nivel distinto de abstracción en la comprensión de la variable.

3.1.1 Variable como incógnita específica

En este uso, la variable se emplea para representar un valor desconocido en una ecuación o problema matemático. Por ejemplo, en la ecuación $2x+5=11$, la variable x representa un valor desconocido que queremos encontrar. La tarea es resolver la ecuación para determinar el valor específico de la variable, que en este caso sería $x=3$. El aprendizaje de este primer uso de la variable permite encontrar soluciones a ecuaciones y realizar cálculos para determinar valores numéricos específicos.

3.1.2 Variable como número general

En este caso, la variable se utiliza para representar un valor que puede tomar cualquier número dentro de un conjunto dado. Por ejemplo, en la expresión $2x$, la variable x puede tomar cualquier valor dentro del conjunto de números reales. Se emplea en la construcción de expresiones algebraicas y en la resolución de problemas matemáticos que requieren generalización.

3.1.3 Variable como función

En este uso la variable se relaciona con otras variables o cantidades en una función matemática. Por ejemplo, en la función $f(x) = 2x + 3$, la variable x está relacionada con la variable $f(x)$ a través de la expresión $2x + 3$. Se utiliza para describir cambios conjuntos o dependencias causales entre diferentes elementos.

Los tres usos de la variable son de importancia en diversas áreas de las matemáticas y tienen aplicaciones prácticas en la resolución de problemas, el modelado e interpretación de fenómenos y relaciones entre conceptos. El aprendizaje adecuado de esta base del álgebra permite a los estudiantes comprender conceptos más complejos en las diversas ramas de las matemáticas y ciencias exactas.

La elaboración de instrumentos de evaluación que permitan medir con precisión las concepciones de los estudiantes sobre la variable es un desafío importante en la educación matemática. Los docentes deben diseñar actividades y ejercicios que promuevan una comprensión profunda y significativa de la variable en diferentes contextos matemáticos.

3.2 Emociones en el aprendizaje

La relación entre las emociones y el aprendizaje es un tema relevante en la educación actual, especialmente en el área de la enseñanza de las matemáticas. Las emociones tienen un papel fundamental en el proceso de aprendizaje, influyendo en la motivación, la atención, la memoria y el procesamiento de la información (Hidi & Renninger, 2006; Mayer, 2003; Pekrun et al., 2009). Es por eso que es importante explorar esta relación y su implicación en el aula de matemática.

La literatura existente indica que las emociones positivas, como el interés, la alegría y la satisfacción, están relacionadas con un mejor rendimiento en la ma-

temática (Pekrun et al., 2009). Por otro lado, las emociones negativas, como la ansiedad, la frustración y el aburrimiento, pueden tener un impacto negativo en el rendimiento y la motivación de los estudiantes (Ashcraft & Kirk, 2001). Existen varias teorías y conceptos que explican la relación entre las emociones y el proceso educativo. La Figura 6 muestra el modelo de emociones propuesto por Pekrun, en la que además de definir a una emoción como negativa o positiva, se hace referencia a si son de activación o desactivación. Es decir, si hacen que la persona sea más productiva en la tarea que realiza, o al contrario.

La teoría de la emoción como facilitadora del aprendizaje sugiere que las emociones no solo son reacciones subjetivas al entorno, sino que también desempeñan un papel activo en la cognición y la motivación. Según esta teoría, las emociones pueden influir en la atención, la memoria y el procesamiento de la información, lo que a su vez afecta el aprendizaje y la toma de decisiones.

Por su parte, la teoría de la regulación emocional sostiene que los individuos son capaces de regular sus propias emociones para adaptarse al entorno y alcanzar sus objetivos. En el contexto educativo, la regulación emocional puede implicar estrategias para manejar el estrés, la ansiedad o la frustración, así como para cultivar emociones positivas que favorezcan el aprendizaje.

La teoría del procesamiento emocional explica que las emociones influyen en cómo se procesa la información, lo que puede afectar la percepción y la interpretación de estímulos externos. Por ejemplo, las emociones positivas pueden ampliar el enfoque de atención y facilitar la integración de nuevas ideas, mientras que las emociones negativas pueden estrechar el enfoque de atención y limitar la capacidad para procesar información compleja.

En la teoría de la motivación intrínseca, se sostiene que las emociones positivas,

como el interés y la satisfacción, son poderosos impulsores de la motivación intrínseca, es decir, la motivación que surge de la propia satisfacción derivada de una actividad en sí misma. Cuando los estudiantes experimentan emociones positivas mientras aprenden, es más probable que se involucren activamente en el proceso y persistan en la búsqueda del conocimiento.

La teoría de la autoeficacia se centra en la creencia de un individuo en su capacidad para tener éxito en una tarea específica. Las emociones pueden influir en la autoeficacia percibida, ya que las experiencias emocionales positivas pueden fortalecer la confianza en las propias habilidades, mientras que las emociones negativas pueden minar esa confianza. Una alta autoeficacia puede promover el compromiso y la perseverancia en el aprendizaje.

Es importante señalar que estas emociones no son inherentemente buenas o malas, sino que su impacto en el aprendizaje depende del contexto y la percepción del estudiante (Pekrun et al., 2002).

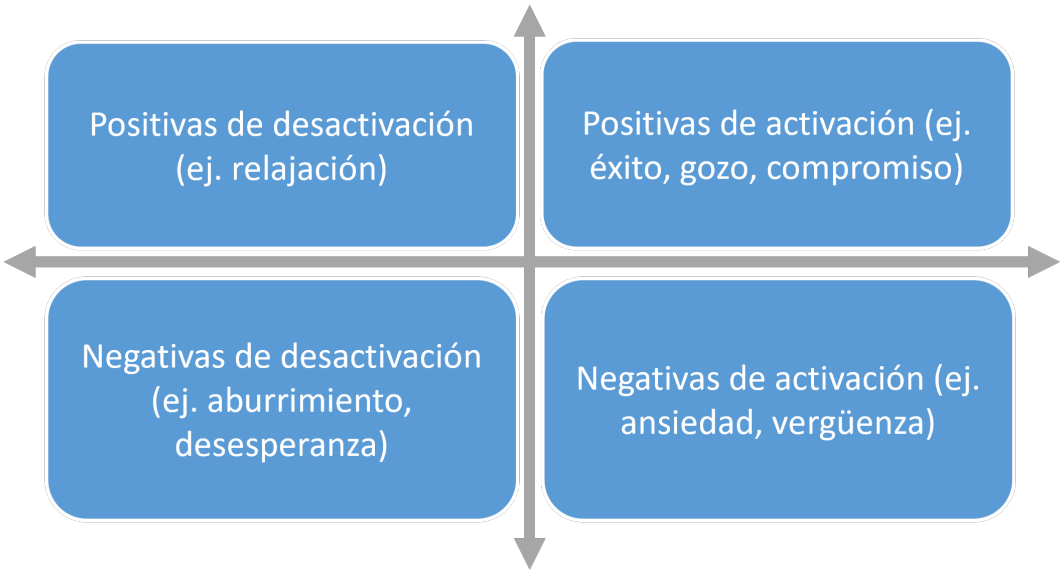


Figura 6: Modelo de emociones en el aprendizaje de Pekrun (2014) .

Además, se ha encontrado que la relación entre las emociones y el aprendizaje matemático está influenciada por factores cognitivos, emocionales y contextuales. Los factores cognitivos incluyen la complejidad de la tarea, la habilidad matemática del estudiante y la comprensión de la tarea. Los factores emocionales incluyen la ansiedad, la autoeficacia y el interés. Los factores contextuales incluyen el ambiente educativo, el estilo de enseñanza y la relación entre el estudiante y el docente (Pekrun et al., 2009).

En consecuencia, los docentes pueden utilizar estrategias para fomentar emociones positivas en el aula de matemática. Por ejemplo, pueden diseñar tareas que sean desafiantes pero manejables, y, al mismo tiempo, proporcionar retroalimentación efectiva para ayudar a los estudiantes a desarrollar su autoeficacia y confianza. Los profesores también pueden fomentar el interés y la curiosidad en los estudiantes al presentar la matemática de manera atractiva y relevante para su vida diaria (Hidi & Renninger, 2006).

3.2.1 Ansiedad matemática

La ansiedad matemática es un fenómeno que se ha estudiado durante décadas en el campo de la educación matemática (Bausela Herreras, 2018; Maloney & Beilock, 2012; O'Leary et al., 2017). Se define como una respuesta emocional negativa, en la que el individuo experimenta miedo, aprensión y tensión al enfrentar situaciones que involucren cálculo, números y operaciones matemáticas. La ansiedad matemática puede manifestarse en diferentes niveles, desde una ligera preocupación hasta una sensación de parálisis ante un problema matemático. No existe un consenso sobre su definición. En la literatura se pueden encontrar dos grandes enfoques para estudiar la ansiedad matemática (Ramirez et al., 2018). Uno de ellos es el de la competencia reducida, que sostiene que la ansiedad matemática es el resultado de las habilidades disminuidas que presenta el estudiante, debido a otras causas, cuan-

do está en proceso de aprendizaje matemático (Ashcraft & Krause, 2007; Maloney et al., 2012). La otra es la teoría de la perturbación, que plantea que al presentarse ansiedad matemática se reducen los recursos cognitivos, principalmente al presentarse una sobrecarga en la memoria de trabajo, lo cual lleva a un rendimiento bajo persistente en esta área de estudio (Engle, 2002).

La ansiedad matemática puede tener un impacto significativo en el aprendizaje de las matemáticas, ya que puede influir en la motivación, el rendimiento y la actitud hacia esta materia. Por ejemplo, los estudiantes que experimentan ansiedad matemática pueden evitar las situaciones que involucren matemáticas desde edades tempranas, lo que puede limitar su capacidad para desarrollar habilidades y competencias en esta área. Además, la ansiedad matemática puede afectar la confianza del estudiante en su capacidad para resolver problemas matemáticos y, por lo tanto, influir en su rendimiento en exámenes y otro tipo de evaluaciones.

Uno de los factores que pueden contribuir a la ansiedad matemática es la falta de comprensión de los conceptos matemáticos fundamentales. Los estudiantes que no han desarrollado una base sólida en matemáticas pueden sentirse inseguros al enfrentarse a problemas más complejos. Además, la ansiedad matemática puede ser influenciada por factores ambientales y personales, como la presión de los exámenes y la falta de apoyo emocional y académico, así como por el desarrollo de una autopercepción equivocada derivada de otras causas y contextos.

La ansiedad matemática también puede estar relacionada con la percepción negativa que se tiene sobre las matemáticas. Algunos estudiantes pueden sentir que las matemáticas son una materia difícil y aburrida, lo que puede aumentar su nivel de ansiedad al enfrentarse a problemas matemáticos. Esta percepción puede venir de situaciones culturales, académicas o familiares. En México, es común que se consideren las matemáticas como una ciencia para "personas muy inteligentes". Es

importante destacar que la ansiedad matemática no está relacionada con la capacidad intelectual o la aptitud para las matemáticas, ya que cualquier persona puede experimentar ansiedad matemática, independientemente de su nivel de habilidad en esta área.

Existen diversas estrategias para ayudar a los estudiantes a manejar la ansiedad matemática. Una de ellas es fomentar una actitud positiva hacia las matemáticas y brindar apoyo emocional y académico a los estudiantes. También, es importante proporcionar una enseñanza que permita una comprensión profunda de los conceptos matemáticos y no se base únicamente en la memorización y repetición de fórmulas y procedimientos. La personalización del aprendizaje es uno de los caminos más recomendados por los expertos en enseñanza de ciencias exactas. La adaptación de la transmisión de los conocimientos en cuanto al material y las estrategias utilizadas resulta en un factor positivo en el aprovechamiento del aprendizaje. Parte del fundamento que sostiene el proceso de adaptación se explica en la teoría de la multimedia educativa de Mayer (Mayer, 2003), en donde se relaciona el procesamiento del aprendizaje con el canal sensorial por el que es transmitido.

En la actualidad, existen tecnologías y herramientas que pueden ayudar a los estudiantes a manejar la ansiedad matemática y mejorar su rendimiento en esta materia. Por ejemplo, los sistemas tutores inteligentes pueden personalizar el proceso de aprendizaje en función del estado emocional del estudiante, lo que puede ayudar a reducir la ansiedad y mejorar el rendimiento en matemáticas.

3.3 Carga cognitiva

El concepto de *carga cognitiva*, en neuroergonomía, se relaciona con el uso eficiente de las interacciones corticales y sus desviaciones. En psicología cognitiva, *carga*

cognitiva se refiere al esfuerzo mental total en la memoria de trabajo. Según la teoría de la carga cognitiva (Plass et al., 2010), la información que entra al cerebro es procesada en tres diferentes estructuras: a) la memoria sensorial, b) la memoria de trabajo, y c) la memoria de largo plazo.

Alternativamente, el enfoque ergonómico busca una expresión neurofisiológica cuantitativa de la carga cognitiva que puede medirse usando instrumentos comunes, por ejemplo, usando el producto de presión de la velocidad de la sangre al corazón (RPP), como una medida de la carga de trabajo ocupacional cognitiva y física. La respuesta pupilar es una medida que refleja la carga cognitiva en la memoria de trabajo (Fredericks et al., 2005).

En la década de 1970, el psicólogo Mihaly Csikszentmihalyi, introduce el concepto de "flujo", que representa el sentimiento de concentración completa en una actividad, con un alto nivel de satisfacción. He ahí el concepto clave, la satisfacción, el poder disfrutar de la actividad que se realiza (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014). La teoría del flujo propone que, en este estado de equilibrio entre la concentración mental y la sensación de satisfacción del individuo, el desempeño en la realización de la actividad se maximiza. Cabe mencionar que no es necesaria la presencia de todos los componentes para tener una experiencia de flujo. Esta experiencia es reportada cuando las reglas y metas sobre una actividad están bien definidas.

Además de la teoría del flujo, la carga cognitiva también se relaciona con el aprendizaje y la memoria. La teoría de la carga cognitiva se aplica en el ámbito educativo, donde se busca reducir la sobrecarga cognitiva en el estudiante y optimizar su aprendizaje.

Un aspecto importante de la teoría de la carga cognitiva es que la capacidad de

la memoria de trabajo es limitada. Por lo tanto, la cantidad de información que se puede procesar y retener en la memoria de trabajo es limitada. La sobrecarga cognitiva se produce cuando se presenta demasiada información en un corto período de tiempo, o cuando la información es demasiado compleja o difícil de entender. En estas situaciones, la capacidad de la memoria de trabajo se ve comprometida y se produce una disminución en la capacidad de procesamiento de la información.

La teoría de la carga cognitiva es particularmente relevante en el contexto de la educación matemática. La resolución de problemas matemáticos requiere un procesamiento cognitivo intensivo, lo que puede llevar a la sobrecarga cognitiva en los estudiantes. Además, la ansiedad matemática puede aumentar la carga cognitiva en los estudiantes y disminuir su capacidad para procesar la información y retenerla en la memoria de trabajo.

En este sentido, se han desarrollado estrategias para reducir la carga cognitiva en el aprendizaje de las matemáticas. Una de las estrategias más efectivas es la utilización de recursos multimedia, que pueden facilitar el procesamiento y la comprensión de la información matemática. La teoría de la multimedia educativa de Mayer sostiene que el aprendizaje se maximiza cuando la información se presenta de forma visual y auditiva, y se utiliza un diseño pedagógico que facilite la integración de la información en la memoria de trabajo.

Otra estrategia para reducir la carga cognitiva es la personalización del aprendizaje. Los sistemas tutores afectivos son herramientas de aprendizaje que utilizan la tecnología para adaptar la presentación de la información a las necesidades y preferencias del estudiante. Estos sistemas utilizan el cómputo afectivo para detectar las emociones del estudiante y adaptar la presentación de la información para reducir la ansiedad y mejorar la comprensión.

En resumen, la teoría de la carga cognitiva es una herramienta importante para entender cómo funciona el aprendizaje y cómo se puede optimizar. En el contexto de la educación matemática, la carga cognitiva es especialmente relevante debido a la complejidad de los conceptos y la ansiedad que pueden generar. La utilización de estrategias como la multimedia educativa y los sistemas tutores afectivos puede reducir la carga cognitiva en los estudiantes y mejorar su capacidad para procesar y retener la información.

3.4 Aprendizaje personalizado

El aprendizaje personalizado es un enfoque pedagógico que busca adaptar la enseñanza a las necesidades, intereses y habilidades de cada estudiante (Xie et al., 2019). Es un modelo que permite a los estudiantes aprender de manera más efectiva, ya que se ajusta a su ritmo de aprendizaje y se adapta a su estilo de aprendizaje. El aprendizaje personalizado puede llevarse a cabo en una variedad de contextos educativos, incluyendo el aula, la educación en línea y la educación a distancia.

La base del fundamento del aprendizaje personalizado está en la idea de que cada estudiante es único y, por lo tanto, tiene necesidades particulares de aprendizaje. El enfoque se centra en la construcción de un plan de aprendizaje que se adapte a esas necesidades individuales de cada estudiante. Este enfoque incluye cambios en el ritmo, la profundidad, el tipo de contenido y la forma en que se presenta la información, entre otros elementos.

Las características del aprendizaje personalizado incluyen el enfoque centrado en el estudiante. Es decir, enfocar el proceso en las necesidades individuales de los estudiantes y en cómo pueden aprender mejor, haciendo hincapié en la responsabilidad del estudiante en su propio proceso de aprendizaje. Otra característica es

el plan de aprendizaje individualizado, en donde cada estudiante recibe un plan de aprendizaje que se adapta a sus necesidades individuales. Este plan incluye las metas de aprendizaje y las actividades específicas que ayudarán al estudiante a alcanzar esas metas (Paramythis & Loidl-Reisinger, 2003).

La retroalimentación constante es otra de las características del aprendizaje personalizado. Los estudiantes reciben retroalimentación sobre su desempeño y progreso en relación con su plan de aprendizaje durante todo el proceso y no únicamente al finalizar etapas de alto nivel. Esta retroalimentación ayuda a los estudiantes a identificar aquellas áreas en las que necesitan mejorar y, en consecuencia, a ajustar su plan de aprendizaje. Por esta razón, también debe ser flexible adaptarse a las necesidades cambiantes de los estudiantes. Cambios en el ritmo de aprendizaje, en el tipo de contenido y en la forma en que se presenta la información son parte de esta flexibilidad que caracteriza al aprendizaje personalizado.

Por último, es importante mencionar que la tecnología desempeña un papel importante en el aprendizaje personalizado, ya que permite la entrega de contenido personalizado y la retroalimentación en tiempo real a través de distintas aplicaciones, que se pueden utilizar como herramientas en cada etapa del proceso de enseñanza y aprendizaje a cualquier nivel.

La relevancia del aprendizaje personalizado radica en su capacidad para mejorar el aprendizaje de los estudiantes y su compromiso con el proceso educativo. Al adaptar la enseñanza a las necesidades individuales de cada estudiante, se puede mejorar la comprensión y la retención de la información, lo que puede llevar a un mejor desempeño académico. Además, el aprendizaje personalizado puede ayudar a mejorar la motivación y el compromiso de los estudiantes con el proceso educativo, lo que puede tener un impacto positivo en su éxito a largo plazo. Así mismo, tiene implicaciones para el desarrollo de habilidades del siglo XXI. Las habilidades

del siglo XXI incluyen la creatividad, la comunicación, la colaboración y el pensamiento crítico. Al permitir que los estudiantes aprendan a su propio ritmo y de acuerdo con sus intereses individuales, el aprendizaje personalizado puede ayudar a desarrollar estas habilidades esenciales.

3.5 Aprendizaje mediado por tecnología

En la era digital actual, la tecnología ha transformado todos los aspectos de la vida humana, incluida la educación. El aprendizaje mediado por tecnología ha emergido como un enfoque innovador que promete revolucionar la forma en que enseñamos y aprendemos. Esta sección explora el impacto de la tecnología en el proceso educativo, centrándose en sus beneficios y desafíos en el contexto del aprendizaje mediado por tecnología.

Una de las principales ventajas del aprendizaje mediado por tecnología es el acceso a grandes cantidades de datos e información. Los estudiantes tienen la oportunidad de explorar recursos educativos en línea, como investigaciones académicas, videos educativos y simulaciones interactivas, que enriquecen su experiencia de aprendizaje y fomentan la exploración autodirigida.

Además, la tecnología permite la personalización del aprendizaje, adaptando el contenido educativo a las necesidades individuales de cada estudiante. Los sistemas de aprendizaje adaptativo utilizan algoritmos para rastrear el progreso del estudiante y proporcionar actividades y materiales que se ajusten a su nivel de habilidad y estilo de aprendizaje, lo que promueve una experiencia de aprendizaje más efectiva y personalizada.

La colaboración y la comunicación son aspectos fundamentales del aprendizaje

mediado por tecnología. Las plataformas de aprendizaje en línea, los foros de discusión y las herramientas de comunicación en tiempo real facilitan la interacción entre estudiantes y docentes, fomentando la colaboración, el intercambio de ideas y la retroalimentación constructiva.

A pesar de estas ventajas, el aprendizaje mediado por tecnología también presenta diversos desafíos. La brecha digital puede limitar el acceso equitativo a la tecnología y a los recursos educativos en línea, exacerbando las desigualdades existentes en el ámbito educativo. Por otra parte, el uso excesivo de la tecnología puede distraer a los estudiantes y afectar negativamente su capacidad para concentrarse y retener información.

Integrar la tecnología de manera efectiva en las prácticas pedagógicas, reconociendo su potencial para mejorar la calidad y la equidad educativa, es uno de los retos vigentes en este proceso. Es necesario que los docentes reciban una formación en el uso de herramientas tecnológicas para desarrollar estrategias que sirvan en el máximo aprovechamiento de la tecnología dentro del aula.

3.6 Cómputo afectivo

El cómputo afectivo es una subárea de la interacción humano-computadora (HCI), que se centra en la integración de las emociones humanas en la tecnología computacional. Se define como la tecnología computacional que surge, se relaciona e influye deliberadamente en las emociones humanas (Picard, 2010). Su objetivo es dotar a los sistemas computacionales de la capacidad de comprender y responder a las emociones de los usuarios, mejorando así la interacción entre humanos y computadoras (Picard, 2003). Es una disciplina interdisciplinaria que combina conocimientos de psicología, informática, inteligencia artificial y otras disciplinas

para desarrollar sistemas que puedan interpretar y gestionar las emociones de manera efectiva.

El cómputo afectivo se basa en la premisa de que las emociones humanas son expresadas a través de diversas señales, como el habla, el rostro y los cambios fisiológicos internos (Luneski et al., 2008). Modelos teóricos, como el modelo de emociones de Plutchik (Plutchik, 1980), han proporcionado una estructura para clasificar y comprender las emociones humanas, identificando ocho emociones bipolares básicas y sus derivados. Estos modelos son fundamentales para el desarrollo de algoritmos de reconocimiento emocional y sistemas de procesamiento de emociones.

Para reconocer y analizar las emociones humanas, se utilizan una variedad de técnicas y modalidades. El análisis del habla permite detectar cambios en el tono de voz y el uso del lenguaje que pueden indicar emociones como la felicidad, la tristeza o la ira. El análisis de expresiones faciales utiliza algoritmos de visión por computadora, para identificar patrones de movimiento facial asociados con diferentes emociones. Además, se pueden emplear sensores fisiológicos para medir cambios en la actividad eléctrica del cuerpo, la frecuencia cardíaca o la conductancia de la piel, que pueden ser indicadores de estados emocionales.

El cómputo afectivo tiene numerosas aplicaciones en campos como la salud, la educación, el entretenimiento y la interacción social. Por ejemplo, algunos sistemas tutores inteligentes adaptan su enfoque de enseñanza según el estado emocional del estudiante, mientras que los asistentes virtuales podrían responder de manera empática a las necesidades emocionales de los usuarios. Sin embargo, existen desafíos importantes en el desarrollo de sistemas emocionalmente inteligentes, como la necesidad de tener regulaciones éticas relacionadas con la privacidad y el uso de los datos emocionales de los usuarios. La Figura 7 muestra un esquema gene-

ral del funcionamiento del cómputo afectivo en el desarrollo de tecnología educativa.

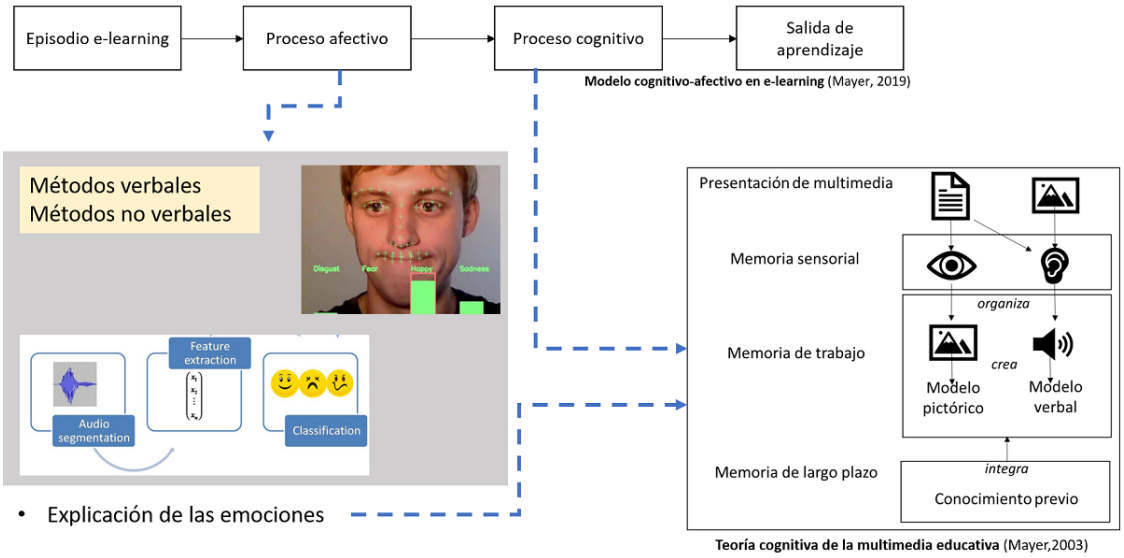


Figura 7: Cómputo afectivo en la tecnología educativa. (Elaboración propia).

3.7 Sistemas tutores inteligentes

El concepto de sistema tutor inteligente (ITS) ha sido utilizado desde hace décadas para referirse a las herramientas electrónicas cuando contribuyen a algún objetivo del proceso de enseñanza y aprendizaje; siendo la más simple la calculadora digital cuando es utilizada como un medio visual para enseñar operaciones aritméticas por medio de la confirmación de resultados (VanLehn, 2013). Estos sistemas han evolucionado considerablemente, desde sus primeras iteraciones en la década de 1970 hasta los sistemas sofisticados que tenemos hoy en día.

Un ITS se define como un sistema de instrucción basado en computadora que recopila información del estudiante y adapta la instrucción a sus necesidades (Zarandi et al., 2012). Se compone de cuatro componentes principales: un modelo de estudiante, un modelo de tutor, un modelo del dominio y un modelo de interfaz. El modelo de estudiante recopila información sobre el conocimiento y el desempeño

del estudiante, mientras que el modelo de tutor genera instrucciones personalizadas en función de esta información. El modelo del dominio representa el contenido o tema que se está enseñando, y el modelo de interfaz facilita la interacción entre el estudiante y el sistema (Cruces & De Arriaga, 2000). El principal desafío de un ITS es obtener la información contextual del alumno, representar su conocimiento y seleccionar la estrategia óptima que contribuya a mejorar su proceso de aprendizaje, ya que requiere un equilibrio entre la adaptación personalizada y la cobertura efectiva del contenido del curso (Sánchez Román, 2018).

Aunque existe una gran cantidad de esfuerzo en la investigación alrededor de los sistemas tutores inteligentes, es un hecho que han tenido poco impacto dentro de la educación en el mundo real. Las primeras generaciones de ITS se enfocaron en fortalecer aspectos cognitivos (Corbett & Koedinger, 1997); sin embargo, la evolución en el desarrollo de los sistemas artificiales inteligentes ha evidenciado la necesidad de atención a otras características particulares del estudiante, como su estado afectivo, para mejorar la efectividad y el impacto real de estas aplicaciones, dando lugar a la aparición de los ATS que se centran en la comprensión y respuesta a las emociones del estudiante, lo que puede mejorar significativamente la efectividad y la experiencia de aprendizaje. Integrar la detección y respuesta a las emociones en los ITS puede mejorar la motivación, el compromiso y el bienestar del estudiante durante el proceso de aprendizaje.

4 Marco metodológico

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo y alcance correlacional, se busca analizar de forma numérica los datos y sus variaciones con respecto a las variables de investigación. La Figura 8 muestra la relación esperada entre las variables descritas en el marco epistémico de esta investigación. La recolección de datos es de tipo numérico y el objetivo principal es estimar el efecto de una herramienta tecnológica en un contexto educativo específico. El diseño para este estudio es de tipo experimental, longitudinal (pre-post) bifactorial entre-sujetos. Se pretende hacer una comparación y analizar las diferencias entre distintas estrategias didácticas empleadas en el sistema tutor afectivo para el objetivo específico de la enseñanza del modelo 3UV (tres usos de la variable). La selección del modelo 3UV se debe al impacto que tiene dentro de la didáctica matemática, ya que la comprensión y uso del concepto de variable es un parte aguas para el aprendizaje del álgebra.

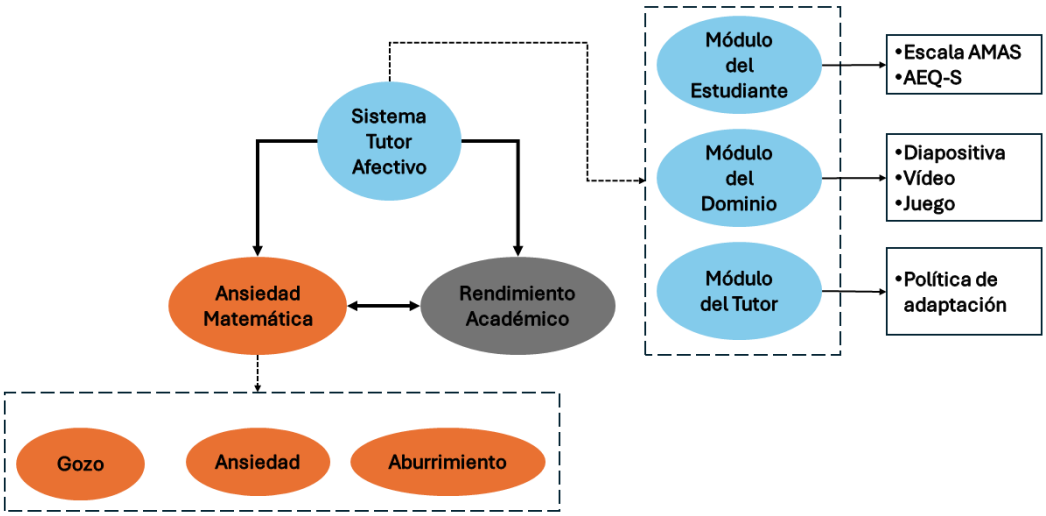


Figura 8: Relación entre las variables de la investigación. (Elaboración propia)

4.1 Población y muestra de la investigación

La población de interés en esta investigación son los estudiantes inscritos en la Licenciatura e Ingeniería en Ciencias de la Computación de una universidad pública del estado de Puebla, México. La matrícula de ambas carreras se compone de 2743 estudiantes, de los cuales 479 son mujeres y 2264 son hombres.

La técnica de muestreo para esta investigación fue el muestreo estratificado multietapa. En la primera etapa, se seleccionaron tres secciones de materias de matemáticas del nivel básico de ambas carreras, que conforman la población accesible del estudio, con tamaños de 30, 28 y 26 estudiantes, respectivamente, resultando en un total de 84 estudiantes (69 hombres y 15 mujeres). En la segunda etapa, se extrajo una muestra final de 23 estudiantes (17 hombres y 6 mujeres) que completaron las 5 sesiones interactivas con el prototipo del ATS. Estos 23 estudiantes fueron asignados aleatoriamente a dos grupos: 12 en el grupo experimental y 11 en el grupo de control.

La selección de la muestra se llevó a cabo considerando varios factores. En primer lugar, se han tenido en cuenta los programas de estudio en los que el uso de un ATS con un diseño instruccional que incorpore diversas estrategias pedagógicas es pertinente. Esto se debe a la naturaleza específica de estos programas, donde el aprendizaje de las matemáticas es base fundamental en la formación de los estudiantes, además del uso de herramientas tecnológicas como parte del aprendizaje cotidiano.

Del mismo modo, se consideró el perfil de los estudiantes que ingresan a las carreras de tecnología y computación. Se ha observado que estos estudiantes tienden a enfrentarse a desafíos particulares en el área de las matemáticas, dada la naturaleza técnica y cuantitativa de los contenidos del programa. Por lo tanto, es

importante implementar estrategias educativas que se ajusten a sus necesidades y características individuales.

Asimismo, se ha tomado en cuenta el rango de edad de los estudiantes seleccionados. El grupo seleccionado se encuentra en el nivel básico del programa, antes de cursar materias del nivel formativo que sigan una línea de especialización . En esta etapa, el impacto de los conocimientos previos en matemáticas es significativo en la adquisición de conceptos más complejos. Por lo tanto, resulta fundamental comprender y abordar adecuadamente estas bases previas para facilitar el proceso de aprendizaje de contenidos más avanzados.

La selección de esta muestra se ha realizado tomando en cuenta los programas de estudio de la licenciatura e ingeniería en ciencias de la computación, para los cuales es pertinente hacer uso de un ATS con un diseño instruccional que considere diferentes estrategias pedagógicas, así como la ventaja que tienen los estudiantes de este nivel para utilizar aplicaciones tecnológicas como herramientas de clase sin intervención o supervisión de un tutor, a diferencia de los estudiantes de educación básica.

4.2 Instrumentos de recolección de datos

Para la realización de este proyecto, se han seleccionado instrumentos para la recolección de datos de los niveles de ansiedad del estudiante, así como para evaluar su aprovechamiento académico a corto plazo y su percepción sobre el ATS en términos de usabilidad. Los instrumentos arrojan resultados numéricos que son los esperados, considerando el enfoque cuantitativo del presente proyecto.

La estrategia de medición de emociones es multimodal, por lo que, aunado al

instrumento de auto reporte, se realizaron grabaciones de la sesión con una video cámara.

4.2.1 Escala abreviada de ansiedad matemática (AMAS)

La AMAS (Hopko et al., 2003) fue desarrollada para cumplir los objetivos de (a) desarrollar una medida abreviada de la ansiedad ante las matemáticas utilizando una gran muestra representativa; (b) evaluar la medida en una muestra independiente valorando su estructura factorial, consistencia interna, fiabilidad test-retest y validez convergente/divergente; y (c) evaluar la generalizabilidad del modelo en una tercera muestra independiente. Es una medida abreviada de la ansiedad matemática, basada en la MARS-R (Plake & Parker, 1982). La AMAS consta de 9 reactivos en los que se presentan diversas situaciones en las que se pide calificar el nivel de ansiedad entre 1 y 5, siendo 1 el nivel más bajo y 5 el nivel más alto.

Las propiedades psicométricas y generalización del modelo fueron evaluadas a través de un análisis factorial exploratorio que demostró una fuerte consistencia interna, fiabilidad test-retest y buena validez convergente/divergente con una muestra independiente. AMAS puede representar un enfoque más parsimonioso y válido para evaluar la ansiedad matemática. Un análisis factorial confirmatorio mostró que los ítems se agrupan en dos factores significativos: Ansiedad por el aprendizaje de las matemáticas y Ansiedad por la evaluación de las matemáticas. La consistencia interna para ambas subescalas es alta (Aprendizaje: α de Cronbach = 0,78; Evaluación: α de Cronbach = 0,79), así como para la escala total (α de Cronbach = 0,83).

4.2.2 Escala de usabilidad de sistemas (SUS)

La escala de usabilidad de sistemas (System Usability Scale) (SUS) (Brooke, 1996) es un cuestionario simple de 10 reactivos que obtiene un panorama general de la evaluación subjetiva de usabilidad de un sistema de software. La escala puede pre-

sentarse en 5 o 7 puntuaciones que indican el nivel de acuerdo que presenta el usuario con una afirmación sobre su experiencia con el sistema.

La SUS fue construida a partir de la construcción de 50 potenciales afirmaciones. Se realizó un estudio con dos sistemas que presentaban un nivel de uso muy fácil y muy difícil, respectivamente. Las afirmaciones que presentaron las respuestas más extremistas fueron seleccionadas. Hubo una correlación de ± 0.7 a ± 0.9. SUS ha probado ser un instrumento robusto, válido y confiable. Actualmente, sigue siendo uno de los cuestionarios más populares en los estudios de evaluación de usabilidad de software.

4.2.3 AEQ-S: Una versión corta del cuestionario de emociones de logro

El Cuestionario de Emociones de Logro (AEQ) (Pekrun et al., 2011) es un instrumento bien establecido para medir las emociones de logro en la investigación educativa y más allá. Su popularidad se basa en la cobertura de la estructura de los componentes de varias emociones de logro en diferentes entornos académicos. Sin embargo, este amplio alcance conceptual requiere la administración de 6 a 12 ítems por escala (Mdn = 10), lo que limita la aplicabilidad del AEQ en estudios empíricos que requieren tiempos de administración breves. Por lo tanto, Bieleke et al. desarrollaron el AEQ-S (Bieleke et al., 2021), una versión corta del AEQ, con sólo 4 ítems por escala que, sin embargo, mantiene el alcance conceptual del instrumento. Se validó el AEQ-S a partir de un reanálisis del conjunto de datos y administrándolo a una muestra de validación nueva e independiente (N = 471 estudiantes universitarios). A pesar de su brevedad, las escalas del AEQ-S alcanzaron una fiabilidad satisfactoria y correlacionaron sustancialmente con las escalas originales del AEQ.

Además, las relaciones estructurales y las intercorrelaciones entre las escalas y sus relaciones con medidas externas de antecedentes y resultados de las emociones de

logro fueron muy similares para las escalas AEQ-S y AEQ. Estos resultados sugieren que el AEQ-S es un sustituto adecuado del AEQ cuando el tiempo de administración es limitado. Los participantes en el estudio de validación respondieron a todos los ítems utilizando escalas de valoración con cinco categorías.

4.3 Desarrollo de la estrategia de medición del estado afectivo

En la primera etapa, se definió el contexto en el que se construiría la implementación del software y se delimitó el tipo de material multimedia involucrado en el proceso, tomando en cuenta los resultados de la revisión de los problemas en la enseñanza de las matemáticas y el contexto educativo mexicano. De esta forma, la temática central del módulo del dominio del ATS es el modelo 3 UV (Ursini & Trigueros, 1997), dividida en tres subtemas correspondientes a cada uno de los usos de la variable en la enseñanza del álgebra.

Se investigaron los métodos de reconocimiento de emociones adaptados y optimizados para los datos obtenidos en un escenario real de la población objetivo, siendo esta la de los estudiantes de asignaturas de matemáticas básicas en el nivel de licenciatura en ciencias computacionales. Se exploraron diversos enfoques de reconocimiento de emociones, como el reconocimiento de gestos faciales, evaluando su pertinencia para el proyecto. Además, se evaluaron modelos de aprendizaje computacional supervisado, lógica difusa y métodos probabilistas para el reconocimiento de emociones.

4.4 Elaboración de un diseño instruccional adaptativo

A partir del primer acercamiento a la población objetivo y, con base en las condiciones de acceso tecnológico, se definieron los escenarios para describir e inducir en los estudiantes emociones específicas en los que se incluya la selección de material

multimedia como una variable de los escenarios y analizar su impacto. El reconocimiento está enfocado en las emociones más relevantes observadas en la primera etapa de esta investigación.

A partir de una primera revisión de la literatura, un método viable es el reconocimiento de emociones a través de la identificación de gestos faciales (S. Alexander, 2005) debido a que tiene una base psicológica sólida con fundamento en la teoría de Ekman sobre las 6 emociones básicas universales (Ekman & Keltner, 1997). No obstante, se exploraron otros métodos de reconocimiento de emociones que se adaptacen y optimizacen el proceso en relación con los datos que se puedan obtener en el escenario real de la población objetivo. Es decir, tomando en cuenta la infraestructura y el acceso a información de usuario disponible en las sesiones interactivas; lo que se conoce en la literatura como sensado oportunista (Kapadia et al., 2009).

En relación con el método computacional, se evaluó el uso de modelos de aprendizaje computacional supervisado, debido a su capacidad de adaptación al contexto de los datos que les sirven como entrenamiento. Otros enfoques a considerar son la lógica difusa, debido a su uso previo en los antecedentes directos de este proyecto (Pedroza Méndez, 2018) y los métodos probabilistas, debido a que han tenido un buen desempeño en problemas de inferencia y predicción en otros dominios, pero no han sido explotados en el contexto de aplicaciones educativas (Sucar, 2015).

Se diseñó una prueba de diagnóstico para seleccionar el nivel en el que el estudiante debe comenzar las sesiones con el ATS, tomando en cuenta los criterios propuestos por Ursini para cada uno de los tres usos de la variable. Cada pregunta del cuestionario está enfocada en evaluar solo uno de los usos de la variable, obteniendo así, en el resultado final, un puntaje sobre cuál es el uso en el que el estudiante tiene mayor entendimiento y cuál es en el que tiene un desempeño menor,

siendo este último el que se selecciona como nivel para el aprendizaje con el tutor.

4.5 Integración del estado emocional al modelo del estudiante

En la tercera etapa, se integró el estado emocional al modelo del estudiante. Se añadió el estado emocional como variable del modelo del estudiante a nivel práctico, modificando la interacción entre modelos del ATS utilizando métodos computacionales de inferencia. Se realizaron pruebas y ajustes para garantizar la efectividad y la coherencia del modelo integrado. Después de una prueba piloto, se determinó utilizar la influencia de dos emociones, una positiva y una negativa, siendo el gozo y el aburrimento, respectivamente. Como parte de la integración, se construyó un sistema de software que diera soporte a la toma de datos del usuario, a partir de su interacción con una interfaz de alto nivel y a su vez un modelo de datos acorde a las modificaciones del modelo base de un ITS. La política de adaptación a las emociones se realizó de manera conjunta, mediante la ponderación de las tres emociones medidas con el cuestionario AEQ-S. La ponderación es la siguiente:

$$P = Ansiedad(0.5) + Aburrimiento(0.25) - Gozo(0.25)$$

El resultado se interpreta como la necesidad de cambiar el material multimedia, debido a la presencia de altos niveles de emociones negativas que se atenúan por el porcentaje dado a la emoción de gozo, que es una emoción positiva de activación. Dado que esta investigación se enfoca en mediar la ansiedad, la política está diseñada para dar un mayor peso al valor de esta emoción. El cambio de material multimedia se da cuando se obtiene un valor de $P \geq 0.5$.

4.6 Evaluación del efecto en el rendimiento académico

El sistema desarrollado está compuesto de cuatro módulos independientes. Un módulo tutor, que gestiona las actividades y procesos interactivos; un módulo del estudiante, que analiza y da respuesta a los datos y necesidades del usuario; un módulo dominio, que contiene los recursos educativos pertenecientes al tema; y finalmente, una interfaz final de usuario que permite la interacción del estudiante con el sistema, como se muestra en la Figura 9. Para la realización del experimento con la muestra seleccionada, se llevó a cabo una prueba de Mago de Oz, en la que hay un interventor humano que toma las decisiones simulando la automatización prevista. Es decir, el investigador realiza los cambios en la interacción de manera transparente al estudiante.

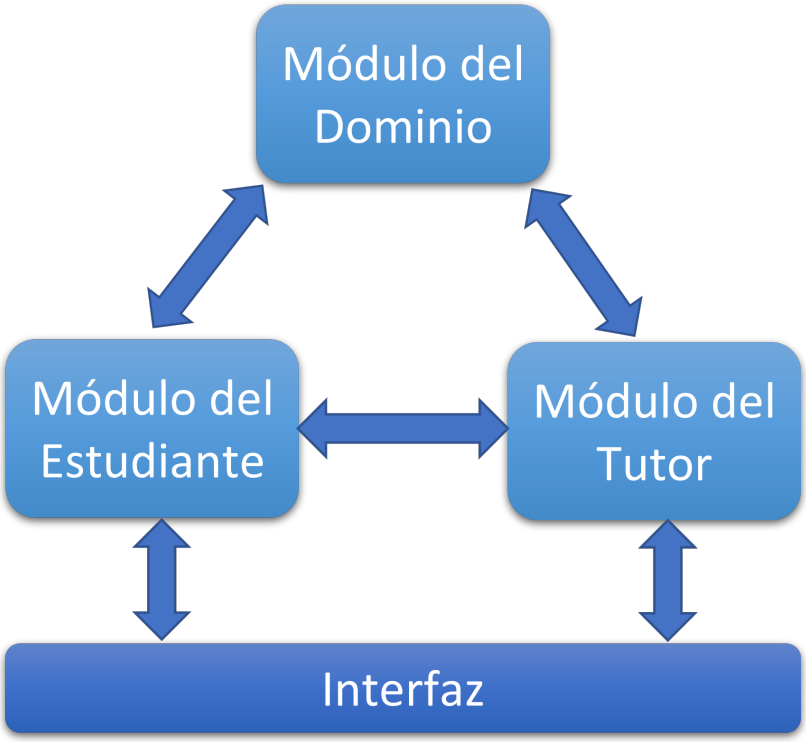


Figura 9: Componentes de un Sistema Tutor Inteligente.

4.6.1 Prueba piloto de usabilidad del sistema

Se realizó una primera prueba con 7 estudiantes, que no pertenecen a la muestra utilizada en el experimento final, quienes completaron una sesión de 20 minutos con el sistema desarrollado. Los resultados de la prueba permitieron ajustar el tiempo de la toma de datos durante la interacción. Inicialmente el experimento fue planteado para realizar 4 evaluaciones emocionales con el cuestionario AEQ-S durante la sesión, sin embargo, los resultados de la prueba piloto mostraron que no es pertinente tener tantos puntos de control, pues a los estudiantes les parecen demasiadas interrupciones en su proceso de aprendizaje y tienden a contestar rápidamente para volver a la sesión, además de generar emociones negativas.

4.6.2 Procedimiento del experimento

Los usuarios contaron con un computadora con acceso a internet. Cada usuario realizó un total de 5 sesiones interactivas con el sistema tutor a lo largo de una semana. Durante la primera sesión, el sistema realizó el diagnóstico de conocimiento para ubicar al usuario en las actividades del nivel correspondiente dentro de la temática del modelo 3UV. Cada nivel corresponde a uno de los usos de la variable descritos en el capítulo del marco teórico. La selección del nivel se refiere al apartado en el que el estudiante obtuvo una calificación más baja. Posteriormente, se realizó una evaluación del nivel de ansiedad matemática con el que inicia su entrenamiento por medio de la escala AMAS. Las actividades que se realizaron en cada sesión interactivas se describieron al principio de cada una de ellas.

Los participantes del grupo de control tuvieron 5 sesiones de 20 minutos con un mismo tipo de material multimedia, que consistieron en una serie de diapositivas interactivas creadas para cada uno de los niveles. Para los participantes del grupo experimental el sistema registró información de las emociones del usuario a través

del cuestionario AEQ, específicamente sobre 3 emociones: ansiedad, gozo y aburrimiento, además se mantuvo el monitoreo de las sesiones con una video cámara. El cuestionario AEQ fue aplicado al grupo experimental al inicio, a la mitad de cada sesión interactiva y al final de cada una para tomar decisiones sobre la estrategia de aprendizaje, específicamente en el cambio de material didáctico multimedia. Los materiales multimedia para este experimento fueron, en un inicio, diapositivas interactivas con control de tiempo para garantizar que la sesión no se extendiera más allá de 25 minutos, videos educativos para cada nivel del modelo 3UV y, finalmente, un conjunto de juegos educativos. El cambio de material fue en el orden descrito, el primer cambio va de las diapositivas al video, el segundo del video al juego educativo y, a partir de este cambio, se toma como el material multimedia más apropiado aquel en el que se registró una menor necesidad de cambio, según la política desarrollada para esta investigación.

Al finalizar la semana, el usuario realizó una evaluación de conocimientos sobre el tema abordado, así como una evaluación del sistema, por medio del cuestionario SUS. Para actualizar el nivel de ansiedad matemática observado se aplicó una segunda aplicación de la escala AMAS y el usuario recibe una retroalimentación de sus resultados.

En la figura 10 se muestra el procedimiento principal que encapsula la toma de datos de esta investigación.

4.7 Análisis de datos

La naturaleza cuantitativa del proyecto da lugar a la realización de una prueba de hipótesis estadística para determinar si existe o no diferencia entre los tratamientos aplicados. Las hipótesis planteadas nos indican si hay un efecto en el rendimiento

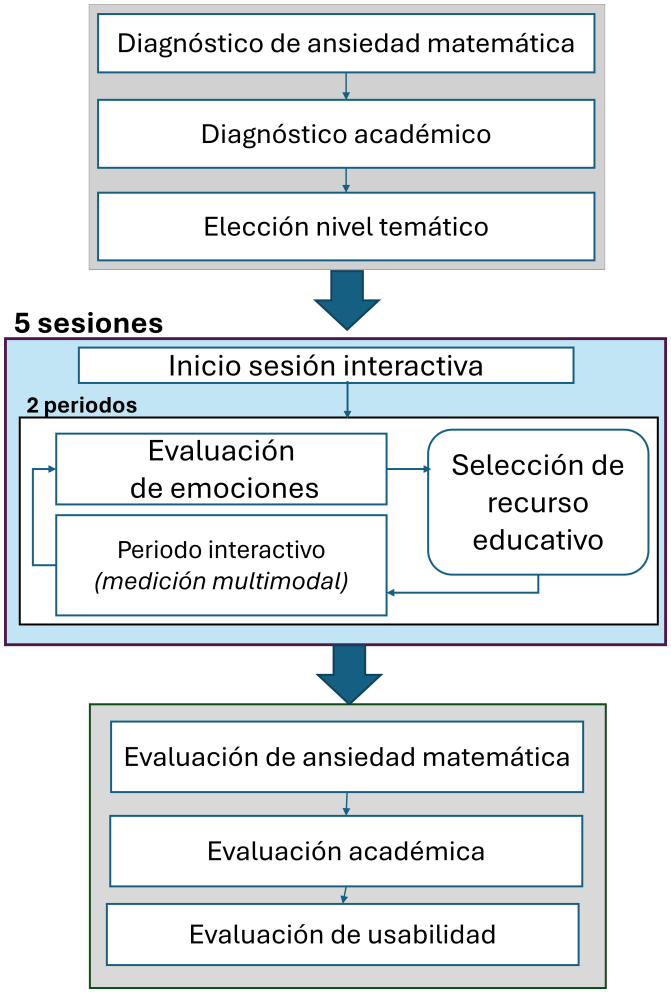


Figura 10: Procedimiento de uso del ATS.

académico del estudiante con el uso del tutor con base en la comparación de las medias estadísticas de los grupos.

El análisis de datos de esta investigación se compone de los siguientes procedimientos estadísticos:

1. **Análisis estadístico descriptivo.** Medidas de tendencia central, dispersión y evaluación de la normalidad.

2. **Prueba de comparación de ubicación**. Zona de rechazo de la hipótesis nula.

5 Resultados

En este capítulo se describen los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, de acuerdo con el orden de los objetivos específicos del proyecto. En particular, se detallan los hallazgos encontrados en la etapa de diagnóstico sobre la problemática de ansiedad matemática y de los resultados obtenidos en los grupos de control y experimental, así como el análisis de los pre-test y post-test.

5.1 Diagnóstico de ansiedad matemática

En esta investigación se aplicó un diagnóstico a 236 estudiantes de una preparatoria pública de la ciudad de Puebla, México (66.5 % mujeres, 33.5 % hombres) como se muestra en la Figura 11. La edad de los participantes era de 15 a 19 años (M = 16.7. SD = 1.23), cursando entre el primer y sexto semestre. Además de la escala AMAS, se registró la calificación más próxima obtenida en un curso del área de matemáticas. La aplicación fue hecha a distancia, sin interferencia de un observador en el momento de aplicación.

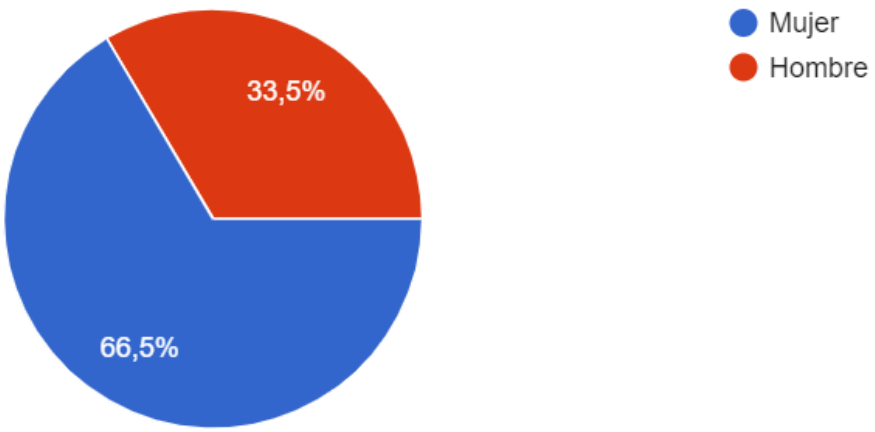


Figura 11: Distribución de los participantes por sexo.

Se obtuvo un alfa de Cronbach para esta muestra de $\alpha = 0.8819$, lo que refuerza la confiabilidad del instrumento. El resultado global del nivel de ansiedad matemática utilizando la escala AMAS es el siguiente: M = 31.4, SD = 7.08. Es decir, el nivel de la muestra está por encima de la media de la escala, llegando incluso a los valores extremos superiores, por lo que se considera un nivel de ansiedad alto. Los resultados promedio de los hombres son de M = 28, SD = 7.49. Los resultados promedio de las mujeres son de M =33.23, SD =6.19. Utilizando el coeficiente d de Cohen, se encontró una diferencia significativa entre ambos grupos con efecto mediano (d = 0.73). En este aspecto, los niveles de ansiedad de las mujeres, en esta muestra, supera al de los hombres e incluso al nivel global. En la Tabla 3 se muestran los resultados de cada item de forma general y por sexo.

Tabla 3: Resultados del diagnóstico de ansiedad matemática.

Item	**General**		**Hombres**		**Mujeres**	
	M	SD	M	SD	M	SD
Teniendo que usar las tablas de la parte de atrás de un libro de matemáticas.	2.73	1.14	2.56	1.18	2.82	1.11
Pensando en un examen de matemáticas un día antes de que se aplique.	4.17	1.01	3.73	1.22	4.39	0.81
Observando a un maestro haciendo una ecuación algebraica en el pizarrón.	2.98	1.21	2.58	1.18	3.19	1.18
Haciendo un examen de un curso de matemáticas.	4.32	0.93	3.89	1.05	4.54	0.78
Si te dejaran una tarea de muchos problemas matemáticos difíciles que debes entregar la próxima clase.	4.39	0.87	3.98	1.08	4.60	0.66
Escuchando una lección en una clase de matemáticas.	2.86	1.10	2.46	1.03	3.07	1.09
Escuchando a un compañero explicando una fórmula matemática.	2.82	1.17	2.58	1.17	2.94	1.16
Si te hicieran una pregunta durante una clase de matemáticas.	4.03	1.11	3.54	1.23	4.28	0.95
Comenzando un nuevo capítulo o tema en un libro de matemáticas.	3.13	1.23	2.63	1.29	3.38	1.12
Total	31.48	7.08	28	7.49	33.23	6.19

En relación con la edad de los participantes, se encontró un índice de corre-

lación de -0.08, que no indica una significancia relevante. La correlación entre las calificaciones y el resultado de la escala AMAS es de -0.29. En cuanto a los factores significativos en los que se pueden agrupar los items de la escala AMAS, en la Tabla 4 se muestran los resultados con respecto al aprendizaje y a la evaluación de las matemáticas. Los resultados sugieren que existe un nivel más alto de ansiedad cuando se presenta una evaluación matemática que al hecho de aprender temas matemáticas. Estos resultados podrían estar asociados a otro tipo de problemáticas de ansiedad a cualquier tipo de evaluación sin importar el tema o asignatura de la que se trate.

Tabla 4: Comparación de resultados de ansiedad por factor significante.

Factor	M	SD
Aprendizaje	2.91	1.17
Evaluación	4.23	0.98

5.2 Implementación de un sistema tutor inteligente que se adapte a las emociones del estudiante

Se desarrolló un sistema compuesto de cuatro módulos independientes. Un módulo tutor, que gestiona las actividades y procesos interactivos; un módulo del estudiante, que analiza y da respuesta a los datos y necesidades del usuario; un módulo dominio, que contiene los recursos educativos pertenecientes al tema; y finalmente, una interfaz final de usuario que permite la interacción del estudiante con el sistema. La interfaz de usuario fue desarrollada para que el uso del sistema sea sencillo, accesible y satisfactorio en relación con los objetivos educativos para los que da soporte.

Con el fin de hacer extensible el desarrollo del ATS, se desarrolló un conjunto de servicios (API) que se comunican entre sí para proporcionar funcionalidades generales y soportar futuras funcionalidades específicas. El esquema general se muestra

en la Figura 12.

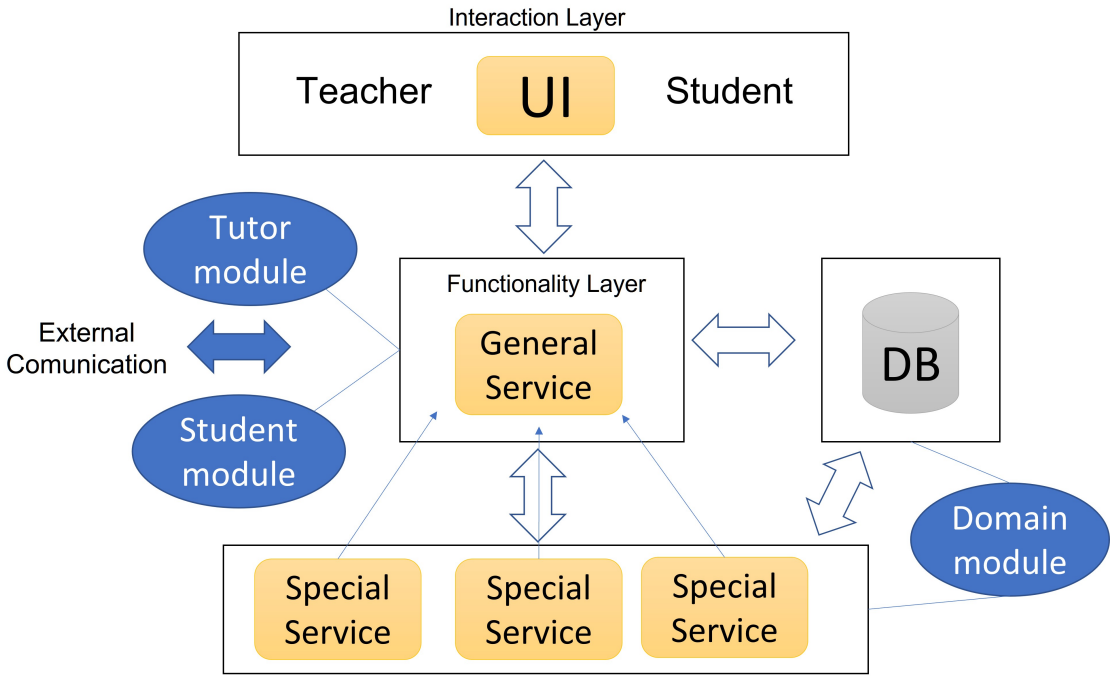


Figura 12: Conjunto de servicios del ATS. (Elaboración propia)

El diseño modular permite utilizar el software en entornos experimentales, en condiciones aún no totalmente definidas. Existe una capa de *Interacción* que consiste en un cliente que sirve de interfaz para los usuarios. La capa *Funcionalidad General* se encarga de exponer la API de entrada al sistema, registrar nuevos módulos de dominio, hacer uso del procesamiento de datos que proporcionan estos Dominios, y mediar entre estos módulos para almacenar datos en la capa de *Persistencia*. La capa *Funcionalidad específica* es un servicio especializado que contiene lo necesario para definir una tarea del sistema con objetivos específicos, el esquema de datos de dicha tarea y los algoritmos necesarios para para procesarlos. Por último, existe una capa de *Persistencia* que se encarga de almacenar los datos para su almacenamiento y post procesamiento, su principal componente es la base de datos.

Para esta investigación, se implementaron dos versiones gráficas del prototipo del sistema, basados en un mismo flujo general de tareas que se muestra en la fi-

gura 13. La Figura 14 muestra el primer prototipo del sistema de acuerdo con la arquitectura diseñada.

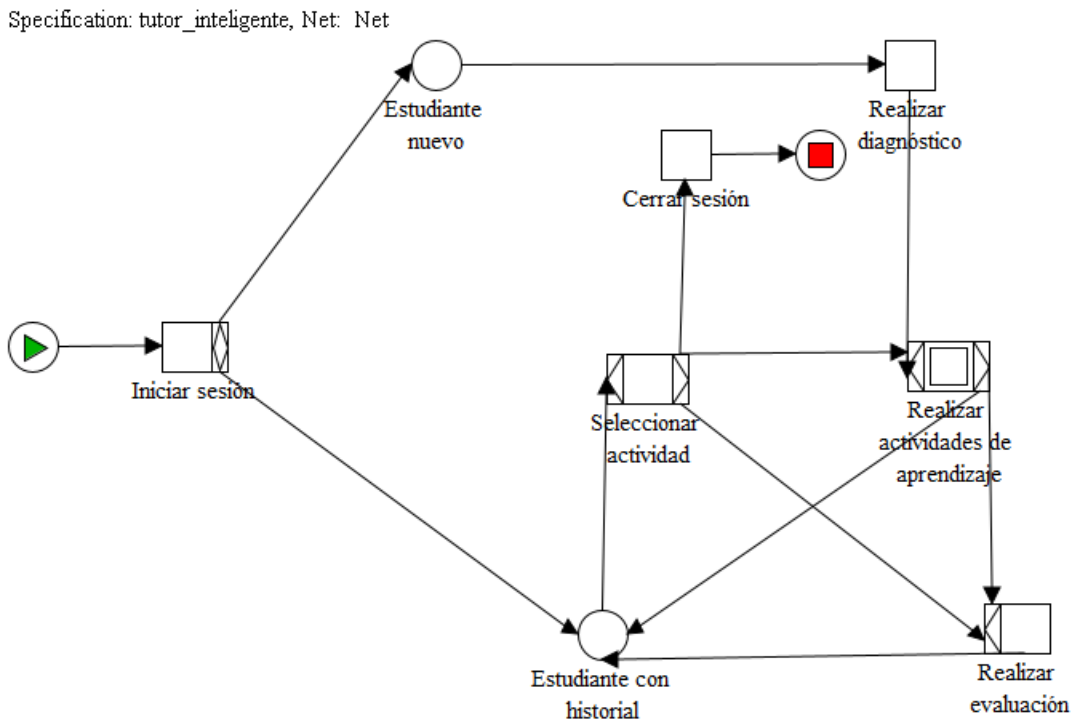


Figura 13: Diagrama de tareas de usuarios del ATS.

5.3 Primer piloto de evaluación del ATS

Se realizó una primera prueba de evaluación del ATS con 7 estudiantes pertenecientes a la población objetivo, con un promedio de edad de 19 años, que no se incluyeron en el experimento final para evitar sesgos en la muestra. La prueba sirvió para hacer ajustes al procedimiento planteado inicialmente en relación con la duración de la sesión interactiva y la captura de emociones por medio del cuestionario AEQ-S. Así mismo, se hizo una prueba rápida de la usabilidad de la implementación del ATS utilizando el cuestionario SUS, descrito en el capítulo de la metodología, con una puntuación de 69 puntos, que lo sitúa como un sistema aceptable con oportunidad de mejora en cuanto a los tres aspectos evaluados: Eficiencia, Eficacia y Satisfacción.

Además de los resultados cuantitativos que son de interés para esta investigación, los estudiantes manifestaron que se sienten más a gusto cuando el sistema les da retroalimentaciones positivas en relación con su desempeño, además de que la distribución de los elementos de la interfaz de usuario del sistema permitían una navegación sencilla.

Al finalizar esta prueba se decidió controlar la navegación del material de estudios para que la duración de la sesión interactiva no rebasara los 25 minutos, tomando en cuenta la aplicación del cuestionario AEQ-S, mismo que se aplicó a la mitad de la sesión y al finalizar. Previo a la prueba piloto, se pretendía realizar 4 aplicaciones del cuestionario AEQ-S, pero en la práctica no se observaron cambios significativos y se consideró un gran número de interrupciones que aumentaron la frustración de la mayoría de los estudiantes.

5.4 Estudio del efecto del ATS

Se realizó un estudio longitudinal de 5 sesiones diarias a los 23 estudiantes que conformaron la muestra de esta investigación. El procedimiento de la prueba consistió en la realización de un diagnóstico de Ansiedad Matemática por medio de la escala AMAS y un diagnóstico académico sobre el tema del modelo 3UV. Los resultados del diagnóstico sirvieron para seleccionar un nivel, que se refiere a uno de los 3 usos de la variable en el aprendizaje del álgebra, siendo el apartado con calificación más baja el nivel seleccionado, debido a que es donde existe un área de oportunidad para mejorar el aprendizaje del estudiante.

Figura 14: Implementación del ATS desarrollado en esta investigación.

5.4.1 Análisis descriptivo de la muestra

Los participantes del estudio son 23 estudiantes, 17 hombres y 6 mujeres, con un promedio de edad de 20 años, que fueron distribuidos aleatoriamente en 2 grupos. En el grupo experimental participaron 8 hombres y 4 mujeres, en el grupo de control participaron 9 hombres y 2 mujeres. La Figura 15 muestra la proporción de los participantes por género. La Tabla 5 muestra las características de los participantes por grupo. La Tabla 6 resume las características de los participantes de manera global.

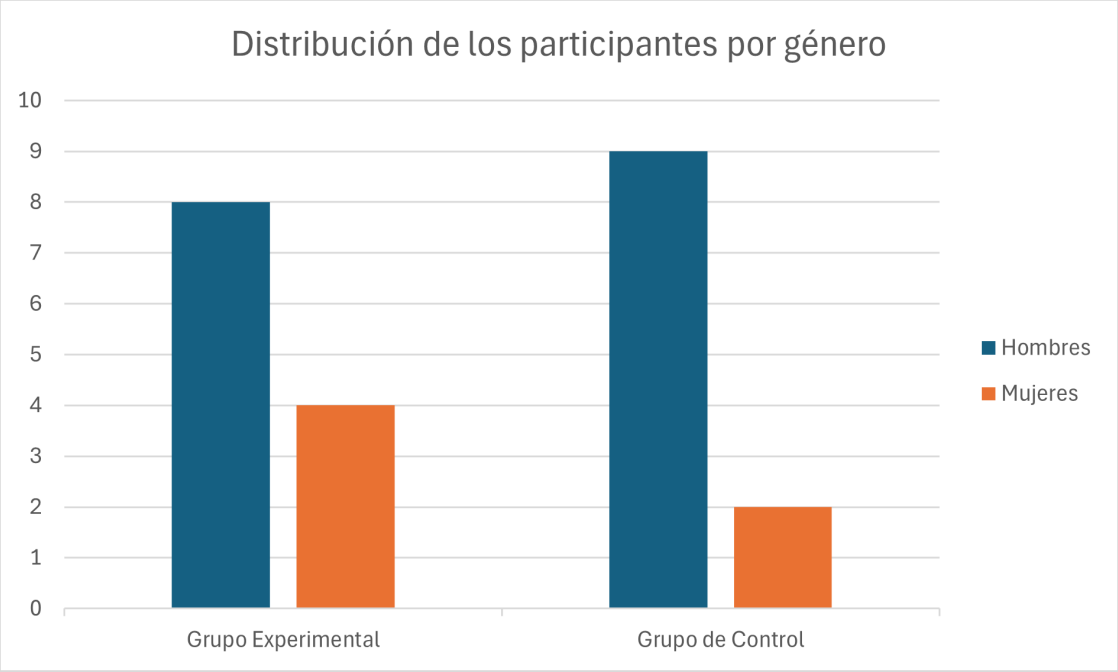


Figura 15: Distribución de los participantes por género en cada grupo.

Al finalizar las 5 sesiones, los estudiantes del grupo experimental y el grupo de control realizaron una evaluación final sobre el tema aprendido con ayuda del ATS, así como una evaluación del nivel de Ansiedad Matemática y una evaluación de usabilidad con el cuestionario SUS.

Tabla 5: Características de los participantes por cada grupo.

Grupo Experimental		**Grupo de control**	
Sexo	**Edad**	**Sexo**	**Edad**
m	21	h	19
h	19	h	19
m	20	m	19
m	21	h	19
m	21	h	21
h	21	h	19
h	20	m	19
h	20	h	20
h	20	h	21
h	20	h	19
h	21	h	20
h	19		

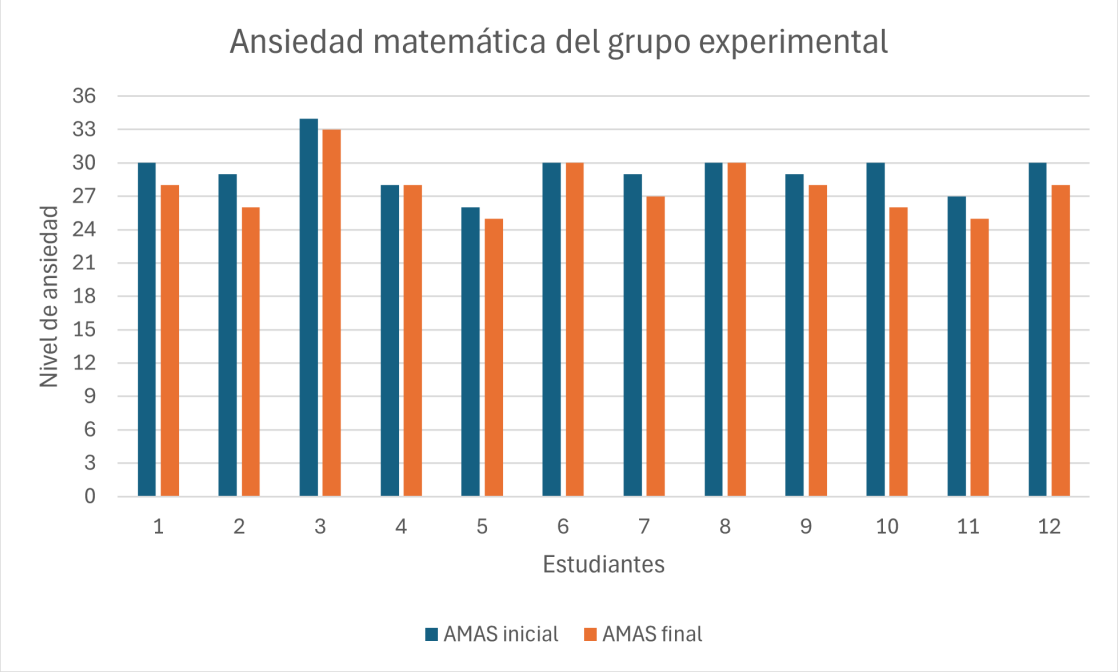
5.4.2 Análisis de los niveles de ansiedad matemática

El resultado del nivel de ansiedad matemática utilizando la escala AMAS al inicio del experimento para los 23 estudiantes es el siguiente: $M = 29.48$, $SD = 1.75$. Los resultados promedio de los hombres son de $M = 29.18$, $SD = 1.07$. Los resultados promedio de las mujeres son de $M = 30.33$, $SD = 2.9$. En la Tabla 7 se resumen los resultados de cada item de forma general y por género. La Figura 16 muestra los cambios entre los niveles de ansiedad matemática iniciales y finales obtenidos por la escala AMAS para el grupo experimental y el grupo de control, respectivamente. Estos resultados muestran que para esta muestra el nivel general sigue superando la medida de la escala, por lo que la ansiedad matemática en un principio es alta. Así mismo, el nivel de ansiedad de las mujeres es mayor al de los hombres, resultado que es congruente con el diagnóstico aplicado y con lo sugerido por la literatura sobre el estudio de la ansiedad matemática.

En cuanto a los factores significativos de la escala AMAS, se obtuvo un promedio de $M = 2.61$, $SD = 0.13$ para el factor de aprendizaje y un promedio de $M = 4.10$, $SD = 0.15$ para el factor de evaluación. Siendo, nuevamente, más alto el nivel de ansiedad que presentan los estudiantes cuando presentan una evaluación

Tabla 6: Características de la muestra final.

	Número	%	Edad promedio
Hombres	17	74 %	20
Mujeres	6	26 %	20
Total Participantes	23		20



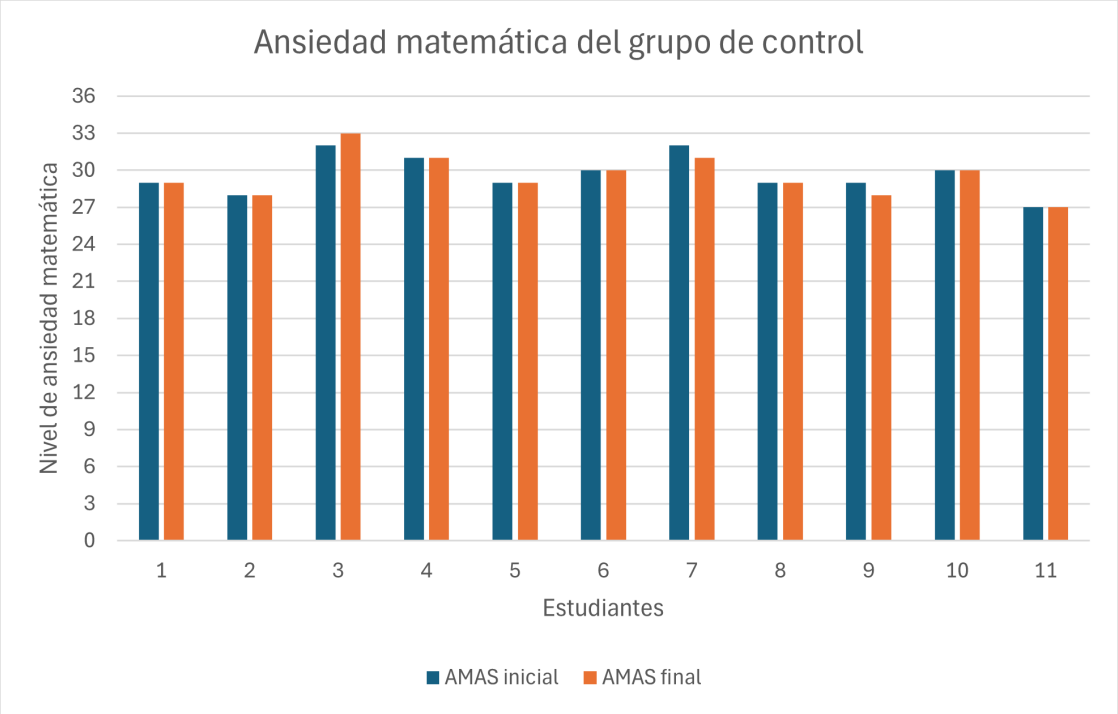


Figura 16: Gráfica comparativa del nivel de ansiedad matemática inicial y final del grupo experimental y de control registrado en la escala AMAS.

Tabla 7: Resultados del diagnóstico de ansiedad matemática de la muestra final.

Item	**General**		**Hombres**		**Mujeres**	
	M	SD	M	SD	M	SD
Teniendo que usar las tablas de la parte de atrás de un libro de matemáticas.	2.45	1.02	2.63	1.06	2.44	2.80
Pensando en un examen de matemáticas un día antes de que se aplique.	4.05	0.77	3.95	0.93	4.17	1.72
Observando a un maestro haciendo una ecuación algebraica en el pizarrón.	2.68	1.14	2.65	1.11	2.77	2.41
Haciendo un examen de un curso de matemáticas.	4.19	0.71	4.10	0.80	4.31	1.19
Si te dejaran una tarea de muchos problemas matemáticos difíciles que debes entregar la próxima clase.	4.26	0.66	4.19	0.82	4.38	2.10
Escuchando una lección en una clase de matemáticas.	2.58	0.84	2.55	0.78	2.68	1.30
Escuchando a un compañero explicando una fórmula matemática.	2.53	0.90	2.65	1.00	2.55	0.54
Si te hicieran una pregunta durante una clase de matemáticas.	3.91	0.84	3.77	0.93	4.06	2.10
Comenzando un nuevo capítulo o tema en un libro de matemáticas.	2.83	1.07	2.70	1.12	2.96	1.72
Total	29.48	1.75	29.18	1.07	30.33	2.9

que cuando están aprendiendo un tema propio de las matemáticas. En la Tabla 8, se muestran los resultados con respecto al aprendizaje y a la evaluación de las matemáticas.

Tabla 8: Comparación de resultados de ansiedad por factor significante de la muestra final.

Factor	M	SD
Aprendizaje	2.61	0.13
Evaluación	4.10	0.15

Para el análisis de la diferencia entre los niveles de ansiedad matemática al inicio y al final de las 5 sesiones, se realizó una prueba *t de student* para comparar las diferencias entre los dos grupos de la que se obtuvo un valor $p = 0.0038$, por lo que existe una diferencia significativa entre los grupos comparados y se rechaza la hipótesis nula. El promedio de la diferencia entre el nivel inicial de ansiedad matemática y el nivel final es de $M = -0.09$ para el grupo de control y de $M = -1.5$ para el grupo experimental. Es decir, hubo una disminución mayor en los niveles de ansiedad matemática después de la interacción con el ATS.

5.4.3 Análisis del rendimiento académico

El análisis del rendimiento académico se realizó mediante la diferencia entre la calificación diagnóstica del tema que se estudió con ayuda del ATS y la calificación de la evaluación final. El resultado de la prueba *t de student* fue de un valor $p = 0.037$, que indica una diferencia significativa entre ambos grupos, aunque muy leve. El promedio de la diferencia en la calificación del diagnóstico y la calificación de la evaluación final para el grupo control fue de $M = 1$ y de $M = 1.5$ para el grupo experimental. Es decir, hubo un aumento mayor en las calificaciones de los estudiantes que tuvieron una adaptación en la estrategia de aprendizaje basada en sus emociones.

Para analizar la relación entre la ansiedad matemática y el rendimiento académico, se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson para los resultados del diagnóstico de ansiedad y el diagnóstico académico. El resultado es de $r = -0.59$, que indica una relación moderada pero negativa entre las dos variables. Es decir, a medida que aumenta el nivel de ansiedad matemática disminuye el rendimiento académico. El resultado del coeficiente de correlación de Pearson para los resultados del nivel final de ansiedad matemática y la evaluación académica es de $r = -0.20$ para el grupo control y de $r = -0.31$ para el grupo experimental.

5.4.4 Análisis de emociones

Durante el experimento, se obtuvieron los datos de tres emociones por medio del cuestionario AEQ-S. Para reducir la interferencia en la interacción del estudiante con el ATS, se realizó una aplicación del cuestionario al inicio de la primera sesión, a la mitad de la primera sesión y al final de esta misma. Para las sesiones posteriores sólo se aplicó a la mitad y al final de la sesión, ya que el resultado final de la sesión anterior determinó la decisión sobre el material presentado al iniciar la siguiente por medio de la política descrita en la metodología. Se obtuvieron 15 registros de cada emoción por cada uno de los 12 participantes en el grupo experimental. Las Figuras 17, 18 y 19 muestran las variaciones de los niveles de gozo, ansiedad y aburrimiento, respectivamente.

Para analizar la relación entre las emociones, se realizó un análisis de regresión múltiple. Se calculó el promedio del valor de cada emoción por cada sesión. Después se obtuvo la matriz de correlación entre las tres variables, gozo, ansiedad y aburrimiento, tomando en cuenta los promedios de las 5 sesiones, los resultados se muestran en la Tabla 9. En la Figura 20, se muestra la matriz de dispersión de las variables observadas. El modelo de regresión se ajustó en relación con la ansiedad como la variable dependiente. El coeficiente de correlación para el gozo

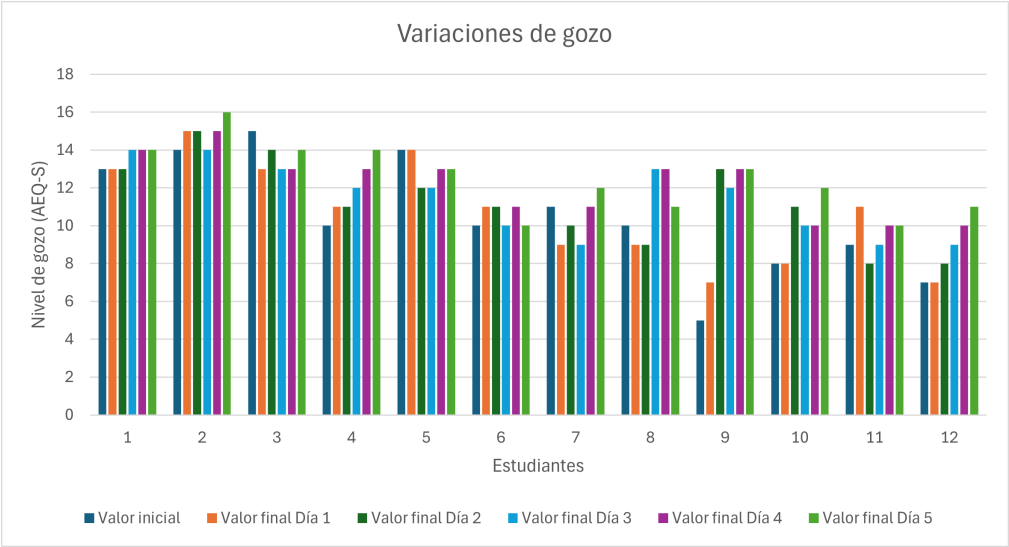


Figura 17: Variaciones del gozo durante las 5 sesiones.

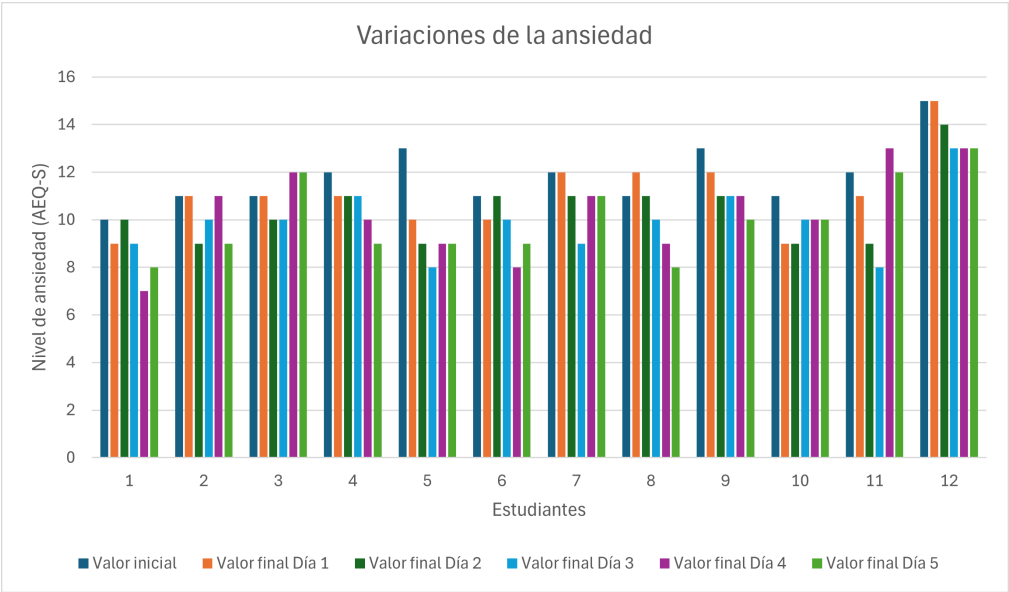


Figura 18: Variaciones de la ansiedad durante las 5 sesiones.

es de $r = -0.26386$ y para el aburrimiento es de $r = 0.13320$. La Tabla 10 muestra los intervalos de confianza para los coeficientes obtenidos. Con una confianza del 95 % se puede decir que el verdadero valor del coeficiente de la variable gozo está entre -0.4630934 y -0.06463484. Con una confianza del 95 % se puede decir que el verdadero valor del coeficiente de la aburrimiento está entre -0.1757209 y 0.44211229.

5.4.5 Resultados de usabilidad del ATS

Al finalizar las 5 sesiones interactivas con el ATS, se aplicó el cuestionario SUS a los 23 participantes para obtener un puntaje de usabilidad del sistema. En términos de evaluación de software, se probaron las siguientes tareas de usuario:

- Registro en el sitio web del tutor afectivo.
- Inicio de sesión.
- Selección de actividad.
- Realización de cuestionario AMAS.
- Ejecución de ejercicios.
- Edición del perfil de usuario.

Los resultados globales de la escala SUS fueron de 76.82 con una desviación estándar de 6.1. La interpretación de la puntuación global es de un sistema aceptable en términos de eficacia, eficiencia y satisfacción. En relación con la puntuación entre grupos de control y experimental, la puntuación es de 80.33 con desviación estándar de 5.36 para el grupo experimental y 73 con desviación estándar de 4.42 para el grupo de control. La Figura 21 muestra las diferencias entre las distribuciones de los resultados de usabilidad del grupo experimental y el grupo de control.

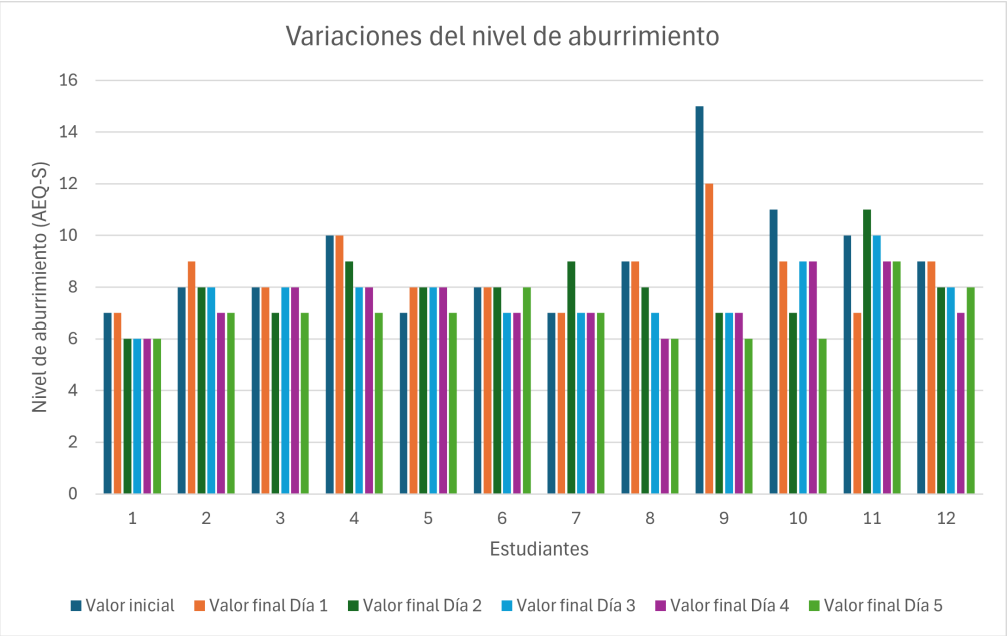


Figura 19: Variaciones del aburrimiento durante las 5 sesiones.

Tabla 9: Matriz de correlaciones entre las emociones observadas.

	Gozo	**Ansiedad**	**Aburrimiento**
Gozo	1	-0.4654111	-0.6068176
Ansiedad	-0.4654111	1	0.3623524
Aburrimiento	-0.6068176	0.3623524	1

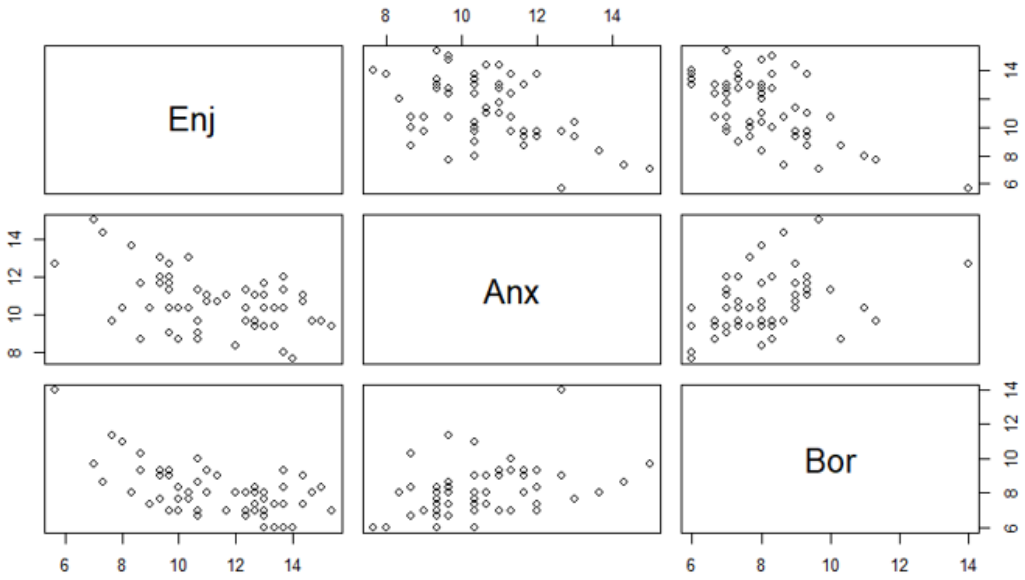


Figura 20: Matriz de dispersión de las emociones observadas.

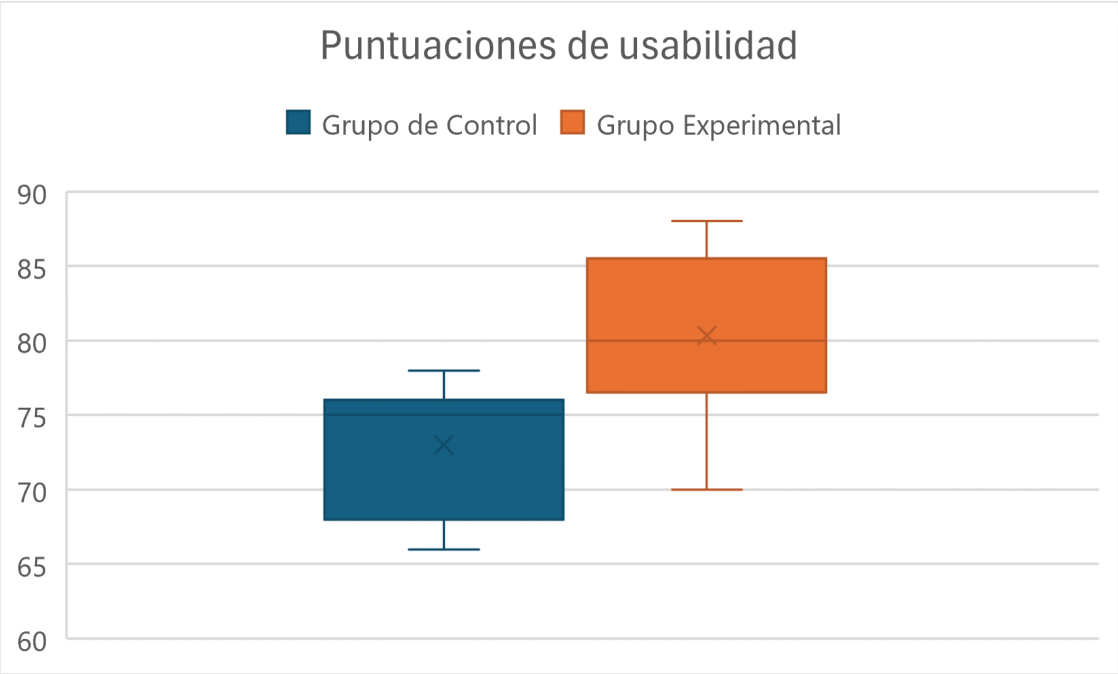


Figura 21: Comparación entre las puntuaciones de usabilidad del grupo de control y el grupo experimental.

Para la implementación del software, se desarrollaron dos prototipos de la interfaz de usuario. La puntuación de usabilidad del experimento se obtuvo con la interfaz de usuario 1. La interfaz de usuario 2 se evaluó con 15 estudiantes universitarios, que solo tuvieron una sesión con el sistema. La puntuación de usabilidad para esta segunda interfaz fue de 74.28, que se interpreta como un sistema con usabilidad aceptable. De esta segunda prueba de usabilidad, también se obtuvieron comentarios adicionales, 40 % de los usuarios sugiere mejorar la distribución de contenidos y 70 % de los usuarios considera la paleta de colores como un factor positivo. La Figura 22 muestra ejemplos de las dos interfaces para las mismas tareas de usuario.

Por último, se obtuvieron los coeficientes de correlación entre la Usabilidad, la ansiedad matemática y el rendimiento académico. La Tabla 11 muestra la matriz de coeficientes de correlación conjunta para estas variables.

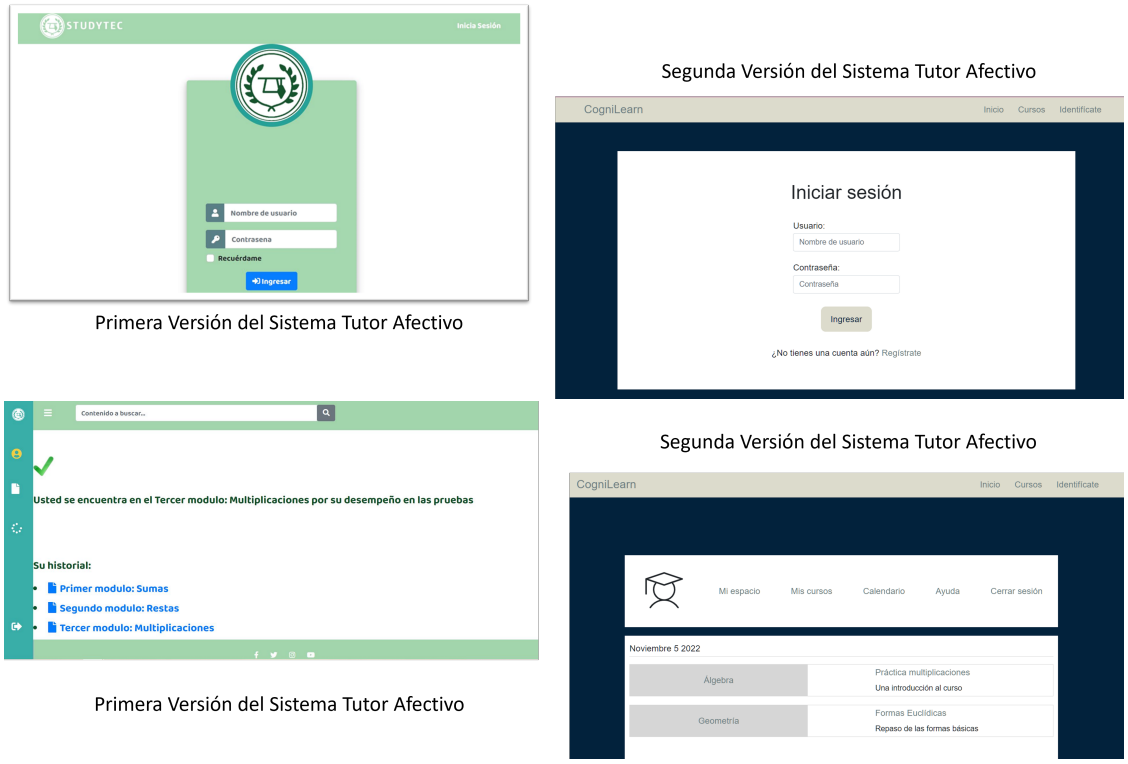


Figura 22: Ejemplos de las dos versiones de interfaz de usuario desarrolladas para el ATS.

Tabla 10: Intervalos de confianza para los coeficientes del modelo.

	2.5 %	**97.5 %**
Gozo	-0.4630934	-0.06463484
Aburrimiento	-0.1757209	0.44211229

Tabla 11: Matriz de correlaciones entre la Ansiedad Matemática, Rendimiento Académico y Usabilidad.

	Ansiedad	Rendimiento	Usabilidad
Ansiedad	1	-0.3143409	-0.4509309
Rendimiento	-0.3143409	1	-0.1212946
Usabilidad	-0.4509309	-0.1212946	1

6 Conclusiones

Las conclusiones de esta investigación incluyen los hallazgos en la indagación de la problemática realizada en el nivel medio superior y en el análisis de la hipótesis principal mediante la experimentación con estudiantes universitarios.

De acuerdo con los resultados observados en el diagnóstico del nivel de ansiedad matemática, que se realizó con alumnos de una preparatoria urbana de la ciudad de Puebla, la primera conclusión es que existe una necesidad de atención hacia un problema que es vigente, ya que el promedio general es superior a 30, lo que indica que en esta población el nivel de ansiedad es muy alto. Los resultados son similares para la muestra final de este estudio, siendo un promedio de 29.48 el nivel de ansiedad antes de iniciar el experimento. Existe una variación, aunque muy leve, entre los resultados del nivel de ansiedad de la muestra de nivel media superior y la muestra de nivel superior. Siendo menor el promedio para los niveles de ansiedad del nivel superior. Este hecho puede deberse a que los alumnos de nivel superior tienen un perfil orientado al estudio de las ciencias exactas, a diferencia del nivel medio superior en el que hay diversos perfiles incluidos en la muestra. Sin embargo, es notable que, de forma general, los niveles de ansiedad para ambos niveles son altos, por lo que los tratamientos para reducirla son urgentes en el contexto local.

Así mismo, las mujeres presentan un nivel más alto con respecto al de los hombres, lo que es consistente con lo descrito en la literatura con respecto a la influencia del sexo ante la problemática de ansiedad matemática. En el caso del nivel medio superior, las mujeres tienen un promedio mucho más alto, de 33.23, en comparación con el promedio de 30.33 de las mujeres del nivel superior. En este sentido, no hay incongruencia en los resultados individuales de cada item, siendo el nivel de ansiedad de las mujeres siempre superior al de los hombres para ambos casos. Nuevamente, la influencia de los perfiles puede ser determinante para esta diferen-

cia entre los estudiantes por género en ambos niveles.

En cuanto a los factores a los que se orienta la presencia de ansiedad matemática, se puede observar que el nivel de ansiedad hacia la evaluación de las matemáticas es muy superior al nivel de ansiedad hacia el aprendizaje matemático, para ambos niveles, lo que sugiere, que puede existir en conjunto un problema de ansiedad hacia la evaluación en general, sin importar el tópico de enseñanza. Esta observación tiene sentido en la teoría de la competencia reducida, en la que se enfatiza que el bajo rendimiento académico aumenta la ansiedad matemática. Es importante señalar que en el caso del nivel superior, la desviación estándar es menor que en el nivel medio superior, nuevamente enfatizando la diversidad de perfiles en este nivel. De igual forma, es importante destacar que la ansiedad a la evaluación de los tópicos matemáticos es menor para el nivel superior que está orientado a las ciencias exactas.

Este diagnóstico, tanto en la indagación como en la experimentación, es evidencia de la necesidad de generar programas de evaluación y atención a las dificultades de aprendizaje matemático de manera formal, tomando en cuenta la investigación realizada en distintos contextos y adaptando las técnicas a los planes de educación vigentes, particularmente, en el sistema de educación en México.

Los resultados del análisis de la diferencia entre los niveles de ansiedad matemática al inicio y al final del experimento con estudiantes del nivel superior muestran una diferencia significativa entre ambos grupos, por lo que hay evidencia de que existe un efecto de disminución en la ansiedad mediante la adaptación del material multimedia en el uso del sistema tutor. Esto concuerda con lo descrito en el estado del arte, en el que se listan los beneficios de la personalización del aprendizaje mediante el uso de tecnología.

Del mismo modo, las diferencias en el rendimiento académico entre el grupo de control y el grupo experimental muestran un aumento mayor en el entrenamiento personalizado. Las variaciones en el canal sensorial por el que el estudiante recibe la información tienen un impacto en su cognición como lo menciona la teoría de la multimedia educativa de Mayer.

Una de las preguntas de investigación de este estudio es, ¿Cuál es el efecto que tiene un ATS en el rendimiento académico de los estudiantes cuando se presenta ansiedad matemática?. La hipótesis es que existe una relación positiva entre las características específicas de un ATS que apoye al tratamiento de las dificultades de aprendizaje matemático, el aumento del rendimiento académico y la disminución de la ansiedad matemática en estudiantes con dificultades de aprendizaje matemático. Los resultados obtenidos con respecto a la ansiedad matemática y el rendimiento académico muestran que la relación entre estas variables es significativamente inversa, es decir, a medida que una aumenta, disminuye la otra. Los resultados del grupo de control muestran una relación débil que puede explicarse al mismo entrenamiento, es decir, a pesar de no tener una adaptación del aprendizaje, tuvieron 5 sesiones para aprender de manera continua. Es necesario ampliar los periodos de prueba de interacción con el tutor para observar si existen variaciones cuando el aprendizaje pasa a ser parte de la memoria de largo plazo. Sin embargo, los resultados del grupo experimental mostraron que la reducción de ansiedad tuvo un impacto en el aumento del rendimiento académico mayor que en el grupo de control.

En cuanto al análisis de las emociones que manifestaron los participantes en el experimento, los resultados muestran una relación negativa entre la ansiedad y el aburrimiento en relación con el gozo. Es decir, cuando los estudiantes disfrutan el proceso de aprendizaje se reduce el nivel de ansiedad y esto es coherente con la disminución del aburrimiento. En el caso específico de las emociones negativas, no es determinante que exista una relación positiva o negativa entre la ansiedad y

el aburrimiento, que puede deberse a que la ansiedad, si bien es negativa, es una emoción de activación al contrario del aburrimiento, que es una emoción negativa de desactivación. No obstante, en la mayoría de los casos ambas disminuyen en relación con la emoción positiva observada en el experimento.

Otra pregunta que plantea esta investigación es, ¿Qué características debe tener un ATS que apoye al tratamiento de las dificultades de aprendizaje matemático cuando se presenta ansiedad matemática? En este sentido, los resultados de la evaluación de usabilidad del sistema muestran puntajes mayores para el grupo experimental. Es decir, a pesar de que ambos grupos probaron las mismas tareas y el mismo diseño de interfaz, la variación en la presentación del material multimedia tuvo un impacto en la percepción de la usabilidad del software. Del mismo modo, la percepción de usabilidad tiene una correlación negativa con la Ansiedad Matemática. La percepción de la usabilidad no solo se basa en el diseño gráfico de la interfaz de usuario, sino en la construcción metodológica del sistema de software en general. La efectividad de la tecnología educativa no nada más está influenciada por el dominio de la aplicación y el diseño instruccional, parte de su efectividad también se debe a un buen diseño y modelado de la experiencia del usuario. Es necesario aplicar las metodologías de desarrollo de sistemas interactivos como parte del proceso de creación de herramientas que apoyen el aprendizaje mediado por tecnología

6.1 Trabajo futuro

El trabajo futuro de esta investigación tiene como objetivo ampliar el proceso de aprendizaje para observar la variación de las emociones de las estudiantes a largo plazo y la relación que estas tienen con su rendimiento académico. Así mismo, se pretende indagar la efectividad de la herramienta en otros temas dentro del área de las matemáticas y, posteriormente, probar la efectividad de la herramienta más

allá del área de las matemáticas.

Con respecto al desarrollo del software, es necesario incorporar la automatización de la toma de decisiones del tutor mediante el uso del cómputo afectivo, evaluando el desempeño de distintos modelos de aprendizaje computacional que se adapten a las características del contexto educativo. Así mismo, se debe mantener una evaluación continua de la experiencia del usuario para mejorar el diseño de las interfaces y del flujo del sistema, con la finalidad de mejorar la eficacia del software.

Lista de acrónimos

AMAS Escala Abreviada de Ansiedad Matemática (Abreviated Math Anxiety Scale).

ATS sistema tutor inteligente afectivo (Affective Tutoring System, ATS).

HCI interacción humano-computadora.

ITS sistema tutor inteligente (Intelligent Tutoring System, ITS).

MARS-R Escala de Valoración de la Ansiedad ante las Matemáticas-Revisada (Math Anxiety Rating Scale–Revised).

SUS escala de usabilidad de sistemas (System Usability Scale).

Glosario de términos

Ansiedad Matemática Sentimientos desagradables que dificultan la capacidad de lidiar con los números y matemáticas en una variedad de situaciones (O'Leary et al., 2017).

Cómputo Afectivo Tecnología computacional que surge, se relaciona e influye deliberadamente en las emociones humanas. (Picard, 2010).

Esfuerzo Mental Empleo deliberado de los recursos corticales cerebrales necesarios para conseguir un resultado concreto. (Plass et al., 2010).

Estado Cognitivo El estado del proceso de adquisición de conocimiento y comprensión del entorno a través del pensamiento, experiencia y sentido. (Selman & Gomes, 2006).

Interacción Humano-Computadora Es el estudio de la interacción entre el ser humano, las computadoras y las tareas que se desarrollan; principalmente se enfoca a conocer cómo la gente y las computadoras pueden interactuar para llevar a cabo tareas por medio de sistemas y software. .

Rendimiento Académico Nivel de conocimientos, habilidades y destrezas que el alumno adquiere durante el proceso enseñanza-aprendizaje.

Sistema Tutor Afectivo (ATS) sistema tutor inteligente capaz de tomar en cuenta el estado emocional del estudiante al adaptar su instrucción. (Sarrafzadeh et al., 2009).

Sistema Tutor Inteligente (ITS) software que recopila información del estudiante y adapta la instrucción. (Zarandi et al., 2012).

Usabilidad La capacidad de un software de ser comprendido, aprendido, usado y ser atractivo para el usuario, en condiciones específicas de uso. (ISO/IEC, 2001).

Referencias

Alexander, L., & Martray, C. (1989). The development of an abbreviated version of the Mathematics Anxiety Rating Scale. *Measurement and Evaluation in counseling and development*, *22*(3), 143-150.

Alexander, S. (2005). Modeling emotions from non-verbal behaviour in an affective tutoring system. En *User Modeling 2005: 10th International Conference, UM 2005, Edinburgh, Scotland, UK, July 24-29, 2005. Proceedings 10* (pp. 493-495).

Alyuz, N. (2016). Shaping the future of education with empathic companions. *Proceedings of the 2nd workshop on Emotion Representations and Modelling for Companion Systems*, 1-2.

Andres, J. M. A. L., Ocumpaugh, J., Baker, R. S., Slater, S., Paquette, L., Jiang, Y., Karumbaiah, S., Bosch, N., Munshi, A., Moore, A., et al. (2019). Affect sequences and learning in Betty's Brain. *Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics & Knowledge*, 383-390.

Arguedas, M., Casillas, L., Xhafa, F., Daradoumis, T., Peña, A., & Caballé, S. (2016). A fuzzy-based approach for classifying students' emotional states in online collaborative work. *2016 10th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS)*, 61-68.

Arguel, A., Lockyer, L., Chai, K., Pachman, M., & Lipp, O. V. (2019). Puzzle-solving activity as an indicator of epistemic confusion. *Frontiers in psychology*, *10*, 427135.

Arroyo, I., Muldner, K., Schultz, S. E., Burleson, W., Wixon, N., & Woolf, B. P. (2016). Addressing Affective States with Empathy and Growth Mindset. *UMAP (Extended Proceedings).*

Arroyo, I., Woolf, B. P., Burelson, W., Muldner, K., Rai, D., & Tai, M. (2014). A multimedia adaptive tutoring system for mathematics that addresses cog-

nition, metacognition and affect. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *24*, 387-426.

Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of experimental psychology: General*, *130*(2), 224.

Ashcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic bulletin & review*, *14*(2), 243-248.

Ashwin, T., & Guddeti, R. M. R. (2020). Impact of inquiry interventions on students in e-learning and classroom environments using affective computing framework. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, *30*(5), 759-801.

Aslan, S., Okur, E., Alyuz, N., Esme, A. A., & Baker, R. S. (2019). Human expert labeling process: valence-arousal labeling for students' affective states, 53-61.

Avila, A. (2016). La investigación en educación matemática en México: una mirada a 40 años de trabajo. *Educacion Matematica*, *28*(3), 31-59. https://doi.org/10.24844/EM2803.02

Baldassarri, S., Hupont, I., Abadía, D., & Cerezo, E. (2015). Affective-aware tutoring platform for interactive digital television. *Multimedia Tools and Applications*, *74*, 3183-3206.

Bausela Herreras, E. (2018). PISA 2012: ANSIEDAD Y BAJO RENDIMIENTO EN COMPETENCIA MATEMÁTICA. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación - e Avaliação Psicológica*, *46*(1), 161-173. https://doi.org/10.21865/RIDEP46.1.12

Benedicto-López, P., & Rodríguez-Cuadrado, S. (2019). Discalculia: manifestaciones clínicas, evaluación y diagnóstico. Perspectivas actuales de intervención educativa. *Relieve. Revista electrónica de investigación y evaluación educativa*, *25*(1).

Benítez, A. (2015). Análisis del aprendizaje matemático a nivel medio superior: caso CECYTEN en Tepic, Nayarit. México, 8.

Bieleke, M., Gogol, K., Goetz, T., Daniels, L., & Pekrun, R. (2021). The AEQ-S: A short version of the Achievement Emotions Questionnaire. *Contemporary Educational Psychology*, *65*, 101940.

Bosch, N., & D'Mello, S. (2013). Programming with your heart on your sleeve: Analyzing the affective states of computer programming students, 908-911.

Brooke, J. (1996). Sus: a "quick and dirty'usability. *Usability evaluation in industry*, *189*.

Cabada, R. Z., Estrada, M. L. B., Beltran V., J. A., Cibrian R., F., Garcia, C. A. R., & Perez, Y. H. (2012). Fermat: Merging Affective Tutoring Systems with Learning Social Networks. *2012 IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 337-339. https://doi.org/10.1109/ICALT.2012.140

Cabada, R. Z., Estrada, M. L. B., Hernández, F. G., & Bustillos, R. O. (2015). An affective learning environment for Java. *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 350-354.

Cantoral, R. (Ed.). (2016). Retos y logros para la comunidad de matemática educativa... *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, *19*(2), 133-134. https://doi.org/10.12802/relime.13.1920

Castillo Avila, A. A., González Calleros, J. M., & Guerrero García, J. (2021). Revisión sistemática de la literatura sobre los sistemas tutores afectivos: 2001-2020. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, *29*, 928-956.

Castro-Cañizares, D., Estévez-Pérez, N., & Reigosa-Crespo, V. (2009). Teorías cognitivas contemporáneas sobre la discalculia del desarrollo. *Revista de neurología*, *49*(3), 143-148.

Chao, C.-J., Tsai, S.-C., Lee, C.-H., Wang, T.-H., & Lin, H. (2014). The impact of affective tutoring system and information literacy on elementary school students' cognitive load and learning outcomes. *En Workshop Proceedings of the 22nd International Conference on Computers in Education, ICCE*, 847-856.

Chaouachi, M., & Frasson, C. (2012). Mental workload, engagement and emotions: an exploratory study for intelligent tutoring systems, 65-71.

Corbett, A. T., & Koedinger, K. R. (1997). Chapter 37 Intelligent Tutoring Systems. . *Intelligent Tutoring Systems*, 26.

Cruces, A. L. L., & De Arriaga, F. (2000). Reactive agent design for intelligent tutoring systems [Publisher: Taylor & Francis]. *Cybernetics & Systems*, *31*(1), 1-47.

De La Cruz Soto, K. N. (2019). Desarrollo de la Inteligencia Lógico-Matemática en Niños con Discalculia.

D'Mello, S., & Graesser, A. (2012). Dynamics of affective states during complex learning. *Learning and Instruction*, *22*(2), 145-157.

D'Mello, S. K., Lehman, B., & Person, N. (2010). Monitoring affect states during effortful problem solving activities. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *20*(4), 361-389.

Duffy, M. C., & Azevedo, R. (2015). Motivation matters: Interactions between achievement goals and agent scaffolding for self-regulated learning within an intelligent tutoring system. *Computers in Human Behavior*, *52*, 338-348.

Duffy, M. C., Lajoie, S. P., Pekrun, R., & Lachapelle, K. (2018). Emotions in medical education: Examining the validity of the Medical Emotion Scale (MES) across authentic medical learning environments [Publisher: Elsevier]. *Learning and Instruction*, 101150.

Ekman, P., & Keltner, D. (1997). Universal facial expressions of emotion. *Segerstrale U, P. Molnar P, eds. Nonverbal communication: Where nature meets culture*, 27-46.

Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current directions in psychological science*, *11*(1), 19-23.

Fennema, E., & Sherman, J. A. (1976). Fennema-Sherman mathematics attitudes scales: Instruments designed to measure attitudes toward the learning of

mathematics by females and males. *Journal for research in Mathematics Education*, *7*(5), 324-326.

Fotopoulou, E., Zafeiropoulos, A., Feidakis, M., Metafas, D., & Papavassiliou, S. (2020). An interactive recommender system based on reinforcement learning for improving emotional competences in educational groups. *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 248-258.

Fredericks, T. K., Choi, S. D., Hart, J., Butt, S. E., & Mital, A. (2005). An investigation of myocardial aerobic capacity as a measure of both physical and cognitive workloads. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *35*(12), 1097-1107.

Ghaleb, E., Popa, M., Hortal, E., Asteriadis, S., & Weiss, G. (2018). Towards affect recognition through interactions with learning materials. *2018 17th IEEE international conference on machine learning and applications (ICMLA)*, 372-379.

Graesser, A. C., Forsyth, C. M., & Lehman, B. A. (2017). Two heads may be better than one: Learning from computer agents in conversational trialogues. *Teachers College Record*, *119*(3), 1-20.

Graesser, A. C., Wiemer-Hastings, K., Wiemer-Hastings, P., Kreuz, R., Group, T. R., et al. (1999). AutoTutor: A simulation of a human tutor. *Cognitive Systems Research*, *1*(1), 35-51.

Grafsgaard, J., Wiggins, J. B., Boyer, K. E., Wiebe, E. N., & Lester, J. (2013). Automatically recognizing facial expression: Predicting engagement and frustration. *Educational data mining 2013*.

Gudino-Penaloza, F., Mendoza, M. G., Gress, N. H., & Vargas, J. M. (2009). Intelligent tutorial system for teaching of probability and statistics at high school in Mexico, 9.

Han, J., Zhao, W., Jiang, Q., Oubibi, M., & Hu, X. (2019). Intelligent tutoring system trends 2006-2018: A literature review. *Proceedings - 2019 8th International Conference of Educational Innovation through Technology, EITT*

2019, 153-159. https://doi.org/10.1109/EITT.2019.00037
cited By 2.

Harley, J. M., Poitras, E. G., Jarrell, A., Duffy, M. C., & Lajoie, S. P. (2016). Comparing virtual and location-based augmented reality mobile learning: emotions and learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, *64*, 359-388.

Hembree, R. (1988). Correlates, causes, effects, and treatment of test anxiety. *Review of educational research*, *58*(1), 47-77.

Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational psychologist*, *41*(2), 111-127.

Hopko, D. R., Mahadevan, R., Bare, R. L., & Hunt, M. K. (2003). The abbreviated math anxiety scale (AMAS) construction, validity, and reliability. *Assessment*, *10*(2), 178-182.

Hull, A., & du Boulay, B. (2015). Motivational and metacognitive feedback in SQL-Tutor. *Computer Science Education*, *25*(2), 238-256.

Hussain, M. S., AlZoubi, O., Calvo, R. A., & D'Mello, S. K. (2011). Affect detection from multichannel physiology during learning sessions with AutoTutor, 131-138.

INEE. (2018). Panorama Educativo de México. Indicadores del Sistema Educativo Nacional 2018. Educación básica y media superior.

ISO/IEC. (2001). *ISO/IEC 9126. Software engineering – Product quality.*

Jimenez, S., Juarez-Ramirez, R., Castillo, V., Licea, G., Ramírez-Noriega, A., & Inzunza, S. (2018). A feedback system to provide affective support to students. *Computer Applications in Engineering Education*, *26*(3), 473-483. https://doi.org/10.1002/cae.21900
cited By 1.

Joshi, A., Allessio, D., Magee, J., Whitehill, J., Arroyo, I., Woolf, B., Sclaroff, S., & Betke, M. (2019). Affect-driven learning outcomes prediction in intelligent

tutoring systems. *2019 14th ieee international conference on automatic face & gesture recognition (fg 2019)*, 1-5.

Justicia-Galiano, M.-J., Pelegrina, S., Lechuga, M.-T., Gutiérrez-Palma, N., Martín-Puga, E.-M., & Lendínez, C. (2016). Math anxiety and its relationship to inhibitory abilities and perceived emotional intelligence. *Anales De Psicología/Annals of Psychology*, *32*(1), 125-131.

Kapadia, A., Kotz, D., & Triandopoulos, N. (2009). Opportunistic sensing: Security challenges for the new paradigm. *2009 First International Communication Systems and Networks and Workshops*, 1-10.

Lajoie, S. P., Zheng, J., Li, S., Jarrell, A., & Gube, M. (2021). Examining the interplay of affect and self regulation in the context of clinical reasoning. *Learning and Instruction*, *72*, 101219.

Larrazolo, N., Backhoff, E., & Tirado, F. (2013). Habilidades de razonamiento matemático de estudiantes de educación media superior en México [Publisher: Consejo Mexicano de Investigación Educativa AC]. *Revista mexicana de investigación educativa*, *18*(59), 1137-1163.

Leary, M. R. (1983). A brief version of the Fear of Negative Evaluation Scale. *Personality and social psychology bulletin*, *9*(3), 371-375.

Lehman, B., D'Mello, S., & Graesser, A. (2012). Confusion and complex learning during interactions with computer learning environments. *The Internet and Higher Education*, *15*(3), 184-194.

Leyzberg, D., Spaulding, S., & Scassellati, B. (2014). Personalizing robot tutors to individuals' learning differences. *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, 423-430.

Liu, Z., Pataranutaporn, V., Ocumpaugh, J., & Baker, R. (2013). Sequences of frustration and confusion, and learning. *Educational data mining 2013*.

Long, Y., & Aleven, V. (2017). Educational Game and Intelligent Tutoring System: A Classroom Study and Comparative Design Analysis. *ACM Transactions*

on Computer-Human Interaction, *24*(3), 20. https://doi.org/10.1145/3057889

Long, Z., Luo, D., Xu, S., & Hu, X. (2019). Agents' cognitive vs. Socio-affective support in response to learner's confusion. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *11528 LNCS*, 233-235. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85067242642&partnerID=40&md5=3531f4bdd6cf4f0e2f397bde49b7d341
cited By 0.

Luneski, A., Bamidis, P. D., & Hitoglou-Antoniadou, M. (2008). Affective computing and medical informatics: state of the art in emotion-aware medical applications. *Studies in health technology and informatics*, *136*, 517.

Magner, U., Schwonke, R., Renkl, A., Aleven, V., & Popescu, O. (2010). Pictorial illustrations in intelligent tutoring systems: Do they distract or elicit interest and engagement?

Mahmoud, M. H. (2019). A Survey of Some Interdisciplinary Methods and Tools to Measure Learners' Emotions in Intelligent Tutoring Systems. *2019 6th International Conference on Advanced Control Circuits and Systems (ACCS) & 2019 5th International Conference on New Paradigms in Electronics & information Technology (PEIT)*, 1-6. https://doi.org/10.1109/ACCS-PEIT48329.2019.9062885

Maloney, E. A., & Beilock, S. L. (2012). Math anxiety: Who has it, why it develops, and how to guard against it. *Trends in cognitive sciences*, *16*(8), 404-406.

Maloney, E. A., Waechter, S., Risko, E. F., & Fugelsang, J. A. (2012). Reducing the sex difference in math anxiety: The role of spatial processing ability. *Learning and Individual Differences*, *22*(3), 380-384.

Marco-Giménez, L., Arevalillo-Herráez, M., Ferri, F. J., Moreno-Picot, S., Boticario, J., Santos, O. C., Salmeron-Majadas, S., Saneiro, M., Uria-Rivas, R.,

Arnau, D., et al. (2016). Affective and Behavioral Assessment for Adaptive Intelligent Tutoring Systems. *UMAP (Extended Proceedings).*

Martin, J. M., Ortigosa, A., & Carro, R. M. (2012). SentBuk: Sentiment analysis for e-learning environments. *2012 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, 1-6.

Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and instruction*, *13*(2), 125-139.

Mayer, R. E. (2020). Searching for the role of emotions in e-learning. *Learning and Instruction*, *70*, 101213.

McQuiggan, S. W., Robison, J. L., & Lester, J. C. (2010). Affective transitions in narrative-centered learning environments. *Journal of Educational Technology & Society*, *13*(1), 40-53.

Mohanan, R., Stringfellow, C., & Gupta, D. (2017). An emotionally intelligent tutoring system. *2017 Computing Conference*, 1099-1107.

Muldner, K., Wixon, M., Rai, D., Burleson, W., Woolf, B., & Arroyo, I. (2015). Exploring the impact of a learning dashboard on student affect, 307-317.

Muñoz, K., Kevitt, P., Lunney, T., Noguez, J., & Neri, L. (2010). PlayPhysics: An emotional games learning environment for teaching physics. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *6291 LNAI*, 400-411. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15280-1_37
cited By 5.

Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2014). The concept of flow. En *Flow and the foundations of positive psychology* (pp. 239-263). Springer.

O'Leary, K., Fitzpatrick, C. L., & Hallett, D. (2017). Math anxiety is related to some, but not all, experiences with math. *Frontiers in psychology*, *8*, 2067.

Ortony, A., Clore, G. L., & Collins, A. (1988). The cognitive structure of emotions. *Cambridge University.*

Padron-Rivera, G., Joaquin-Salas, C., Patoni-Nieves, J.-L., & Bravo-Perez, J.-C. (2018). Patterns in poor learning engagement in students while they are solving mathematics exercises in an affective tutoring system related to frustration, 169-177.

Padrón-Rivera, G., Rebolledo-Mendez, G., Parra, P. P., & Huerta-Pacheco, N. S. (2016). Identification of action units related to affective states in a tutoring system for mathematics. *Journal of Educational Technology & Society*, *19*(2), 77-86.

Paramythis, A., & Loidl-Reisinger, S. (2003). Adaptive learning environments and e-learning standards. *Second european conference on e-learning*, *1*(2003), 369-379.

Pardos, Z. A., Baker, R. S., San Pedro, M. O., Gowda, S. M., & Gowda, S. M. (2013). Affective states and state tests: Investigating how affect throughout the school year predicts end of year learning outcomes. *Proceedings of the third international conference on learning analytics and knowledge*, 117-124.

Pedroza Méndez, B. E. (2018). *Tutor cognitivo para el apoyo de alumnos de nivel medio superior en la resolución de problemas de álgrebra* [Tesis doctoral]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Pedroza-Méndez, B. E., Gonzalez-Calleros, J. M., Guerrero-García, J., & Collazos, C. A. (2019). Continuous Evaluation of the Learning Process of Algebra Through a Semi-Automated Tool. *Journal of Information Technology Research (JITR)*, *12*(3), 1-20.

Pekrun, R. (1992). The impact of emotions on learning and achievement: Towards a theory of cognitive/motivational mediators [Publisher: Wiley Online Library]. *Applied Psychology*, *41*(4), 359-376.

Pekrun, R., Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2009). Achievement goals and achievement emotions: Testing a model of their joint relations with academic performance. *Journal of educational Psychology*, *101*(1), 115.

Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P., & Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary educational psychology*, *36*(1), 36-48.

Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Positive emotions in education.

Pham, P., & Wang, J. (2018). Predicting learners' emotions in mobile MOOC learning via a multimodal intelligent tutor, 150-159.

Picard, R. W. (2003). Affective computing: challenges. *International Journal of Human-Computer Studies*, *59*(1-2), 55-64.

Picard, R. W. (2010). Affective computing: from laughter to IEEE. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *1*(1), 11-17.

Plake, B. S., & Parker, C. S. (1982). The development and validation of a revised version of the Mathematics Anxiety Rating Scale. *Educational and psychological measurement*, *42*(2), 551-557.

Plass, J. L., Moreno, R., & Brünken, R. (2010). *Cognitive load theory*. Cambridge University Press.

Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. En *Theories of emotion* (pp. 3-33). Elsevier.

Price, M. J., Mudrick, N. V., Taub, M., & Azevedo, R. (2018). The role of negative emotions and emotion regulation on self-regulated learning with metatutor, 170-179.

Ramirez, G., Shaw, S. T., & Maloney, E. A. (2018). Math anxiety: Past research, promising interventions, and a new interpretation framework. *Educational psychologist*, *53*(3), 145-164.

Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). The mathematics anxiety rating scale: psychometric data. *Journal of counseling Psychology*, *19*(6), 551.

Richey, J., Andres-Bray, J., Mogessie, M., Scruggs, R., Andres, J., Star, J., Baker, R., & McLaren, B. (2019). More confusion and frustration, better learning:

The impact of erroneous examples. *Computers and Education*, *139*, 173-190. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.05.012
cited By 5.

Rodrigo, M. M. T., Baker, R. S., Agapito, J., Nabos, J., Repalam, M. C., Reyes, S. S., & San Pedro, M. O. C. (2012). The effects of an interactive software agent on student affective dynamics while using; an intelligent tutoring system. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *3*(2), 224-236.

Romero-Solano, F. E., del Cisne Quevedo-Rojas, X., Figueroa-Corrales, E., et al. (2023). La gamificación como estrategia para desarrollar el pensamiento lógico en la resolución de problemas matemáticos. *MQRInvestigar*, *7*(4), 169-187.

Ruiz, S., Urretavizcaya, M., Rodríguez, C., & Fernández-Castro, I. (2020). Predicting students' outcomes from emotional response in the classroom and attendance. *Interactive Learning Environments*, *28*(1), 107-129. https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1528282
cited By 0.

Russell, J. A. (1983). Pancultural aspects of the human conceptual organization of emotions. [Publisher: American Psychological Association]. *Journal of personality and social psychology*, *45*(6), 1281.

Sánchez Román, G. (2018). *Metodología de desarrollo de sistema tutor enfocada en habilidades algorítmicas* [Tesis doctoral]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Sandman, R. S. (1980). The mathematics attitude inventory: Instrument and user's manual. *Journal for research in Mathematics Education*, *11*(2), 148-149.

Sarrafzadeh, A., Alexander, S. T., & Shanbehzadeh, J. (2009). Affective tutoring system for better learning. *International Journal of Mobile and Blended Learning (IJMBL)*, *1*(1), 61-77.

Selman, B., & Gomes, C. P. (2006). Hill-climbing Search. *Encyclopedia of Cognitive Science*.

Spielberger, C. D., Gonzalez, H., Taylor, C. J., Algaze, B., & Anton, W. D. (1978). Examination stress and test anxiety. *Stress and anxiety*, *5*, 167-191.

Strain, A. C., D'Mello, S. K., & Graesser, A. C. (2011). Training emotion regulation strategies during computerized learning: A method for improving learner self-regulation, 616-618.

Sucar, L. E. (2015). Probabilistic graphical models. *Advances in Computer Vision and Pattern Recognition. London: Springer London. doi*, *10*(978), 1.

Taub, M., Sawyer, R., Lester, J., & Azevedo, R. (2020). The impact of contextualized emotions on self-regulated learning and scientific reasoning during learning with a game-based learning environment. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *30*, 97-120.

Ursini, S., & Trigueros, M. (1997). Understanding of different uses of variable: A study with starting college students. *PME CONFERENCE*, *4*, 4-254.

Vadillo, G. (2020). Pensamiento matemático en el bachillerato. Entrevista al Dr. Keith Devlin. *Revista Mexicana de Bachillerato a Distancia*, *12*(24). https://doi.org/10.22201/cuaed.20074751e.2020.24.76821

Vail, A. K., Wiggins, J. B., Grafsgaard, J. F., Boyer, K. E., Wiebe, E. N., & Lester, J. C. (2016). The Affective Impact of Tutor Questions: Predicting Frustration and Engagement. *International Educational Data Mining Society.*

VanLehn, K. (2013). Model construction as a learning activity: a design space and review. *Interactive Learning Environments*, *21*(4), 371-413. https://doi.org/10.1080/10494820.2013.803125

Wang, C.-H., & Lin, H.-C. K. (2018). Constructing an affective tutoring system for designing course learning and evaluation. *Journal of Educational Computing Research*, *55*(8), 1111-1128.

Woolf, B. P., Arroyo, I., Cooper, D., Burleson, W., & Muldner, K. (2010). Affective tutors: Automatic detection of and response to student emotion. *Advances in intelligent tutoring systems*, 207-227.

Xie, H., Chu, H.-C., Hwang, G.-J., & Wang, C.-C. (2019). Trends and development in technology-enhanced adaptive/personalized learning: A systematic review of journal publications from 2007 to 2017. *Computers & Education*, *140*, 103599.

Zakharov, K., Mitrovic, A., & Johnston, L. (2007). Intelligent Tutoring Systems respecting human nature. *En Proceedings of NZCSRSC*.

Zarandi, M. H. F., Khademian, M., Minaei-Bidgoli, B., & cols. (2012). A fuzzy expert system architecture for intelligent tutoring systems: A cognitive mapping approach [Publisher: Scientific Research Publishing]. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, *4*(01), 29.