



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

**Desarrollo e integración de plataforma web interactiva y prototipo de robot
tutor para el aprendizaje de cálculo diferencial en estudiantes de Ingeniería de
Sistemas de una Universidad Privada de Arequipa**

Tesis presentada por:

Chavez Barrios, Tatyana Mykaela

ORCID: 0000-0002-0680-4232

Zuñiga Huanca, Alexandra Yamiletti

ORCID: 0009-0008-2776-6643

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

Asesor (a):

Mg. Mujica Guzman, Brayan Adolfo

ORCID: 0000-0002-4664-4368

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE SISTEMAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 06 de Abril del 2026

Dictamen: 015547-C-EPIS-2026

Visto el borrador del expediente 015547, presentado por:

2020206052 - ZUÑIGA HUANCA ALEXANDRA YAMILETTI

2020201222 - CHAVEZ BARRIOS TATYANA MYKAELA

Titulado:

DESARROLLO E INTEGRACIÓN DE PLATAFORMA WEB INTERACTIVA Y PROTOTIPO DE ROBOT TUTOR PARA EL APRENDIZAJE DE CÁLCULO DIFERENCIAL EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE SISTEMAS DE UNA UNIVERSIDAD PRIVADA DE AREQUIPA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE SISTEMAS

**29279577 - SANCHEZ MORENO MESTAS MARTHA BEATRIZ
DICTAMINADOR**



**29643112 - GUEVARA PUENTE DE LA VEGA KARIM
DICTAMINADOR**



**43635330 - ESQUICHA TEJADA JOSE DAVID
DICTAMINADOR**



DESARROLLO E INTEGRACIÓN DE PLATAFORMA WEB INTERACTIVA Y PROTOTIPO DE ROBOT TUI APRENDIZAJE DE CÁLCULO DIFERENCIAL EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE SISTEMAS DE UNA UNIVERSIDAD PRIVADA DE AREQ

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1 repositorio.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

2 www.coursehero.com

Fuente de Internet

3 www.dykinson.com

Fuente de Internet

4 hdl.handle.net

Fuente de Internet

5 tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

6 editorial.edulearn.ec

Fuente de Internet

7 Francis Enrique Quintero Cepeda, Marian Alexandra Quintero Tello, Richard Henry Quintero Tello. "Impacto de la IA en el aprendizaje de estudiantes de educación básica: estudio de caso en el Colegio Militar N°6 Combatientes de Tapi", Tesla Revista Científica 2026

Publicación

8 repositorio.umariana.edu.co

Fuente de Internet

9 sedici.unlp.edu.ar

Fuente de Internet

10 www.tdx.cat

Fuente de Internet

11 repositorio.ujcm.edu.pe

Fuente de Internet

12 www.researchgate.net

Fuente de Internet

13 Submitted to Universidad TecMilenio

Trabajo del estudiante

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su comprensión, amor y apoyo incondicional me han acompañado en cada paso, incluso a pesar de la distancia. Su confianza en mí ha sido la base que me ha permitido seguir adelante y alcanzar mis metas. A mi hermana Mitzi, ejemplo de esfuerzo y bondad, a quien admiro profundamente y de quien aprendo cada día el valor de la generosidad y la fortaleza. A mis amigos, quienes han sido mi soporte en los momentos más difíciles y en quienes siempre confío. Gracias por compartir conmigo este camino y recordarme que puedo alcanzar lo que me proponga. Y a mis docentes, quienes con su dedicación y enseñanza dejaron en mí huellas imborrables que han contribuido a formar no solo mi vida profesional, sino también la persona que soy hoy.

Tatyana Mykaela Chávez Barrios

Dedico este trabajo a mi familia, cuyo amor, apoyo y confianza incondicional han sido la base sobre la cual se ha sostenido cada uno de mis pasos. Gracias por enseñarme, con su ejemplo y entrega, que los sueños se alcanzan con constancia, esfuerzo y fe, y por acompañarme en cada etapa de mi vida académica con palabras de aliento y gestos de cariño que me dieron la fuerza necesaria para superar cada desafío. A mis docentes, quienes con sus enseñanzas, exigencia y dedicación marcaron profundamente mi formación académica y profesional, guiándome en el camino del conocimiento y motivándome a dar siempre lo mejor de mí. Y a Dios, fuente de vida y sabiduría, a quien confío cada uno de mis proyectos, agradeciendo su presencia constante, su fortaleza en los momentos difíciles y la bendición de culminar con éxito esta etapa tan significativa de mi vida.

Alexandra Yamiletti Zúñiga Huanca

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue posible gracias al apoyo y la guía recibida durante todo el proceso académico. Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Católica de Santa María y, de manera especial, al Vicerrectorado de Investigación, por el respaldo y patrocinio brindado a este proyecto.

Queremos extender un agradecimiento especial a nuestros padres, por su apoyo incondicional, comprensión y confianza, que nos motivaron a perseverar en cada etapa de esta investigación.

Asimismo, reconocemos con gratitud a todos los docentes y mentores que contribuyeron a nuestra formación profesional y personal. En particular, agradecemos al Mg. Brayan Adolfo Mujica Guzmán, al Dr. José Esquicha Tejada, a la Dra. Karim Guevara y a la Mg Martha Sánchez-Moreno por su valiosa asesoría, dedicación y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo, cuya orientación fue fundamental para alcanzar los objetivos planteados.

RESUMEN

La educación superior atraviesa una transformación impulsada por tecnologías digitales que han mejorado el acceso y la flexibilidad del aprendizaje. Sin embargo, persiste el desafío de mantener la atención y motivación de los estudiantes en entornos virtuales, especialmente en asignaturas abstractas como Cálculo Diferencial, lo que afecta su aprendizaje. Este trabajo presenta el diseño e implementación de una solución tecnológica mixta compuesta por una plataforma web interactiva y un robot tutor con visión computacional, orientados a fortalecer la motivación y el aprendizaje mediante recursos multimedia, ejercicios guiados con retroalimentación automática, desafíos prácticos y monitoreo atencional en tiempo real. La investigación se desarrolló como un estudio piloto exploratorio con estudiantes de Ingeniería de Sistemas, enfocado en evaluar la usabilidad, aceptación e impacto inicial de la plataforma web, aplicada en la tercera fase del curso. Los resultados evidenciaron niveles favorables de usabilidad, con un puntaje promedio SUS de 76.41 puntos (escala 0–100), considerado “bueno”. Asimismo, el modelo TAM mostró alta intención de uso futuro (4.35 puntos en escala Likert de 1 a 5) y facilidad de uso percibida (4.23 puntos en escala Likert de 1 a 5). En el ámbito académico, se observó una mejora significativa en el rendimiento, con un incremento de la media de 4.50 a 7.95 puntos (escala 0–20) en el pretest y postest ($p < 0.00001$). Además, el MSLQ (Cuestionario Sobre Estrategias Motivacionales para el Aprendizaje) reportó altos niveles de motivación intrínseca, autoeficacia y utilidad percibida. El sistema integrado fue validado por expertos, quienes destacaron su coherencia técnica y pertinencia pedagógica. En conjunto, los resultados validan la viabilidad técnica y pedagógica de la propuesta, evidenciando su impacto inicial en el aprendizaje y motivación de los estudiantes.

Palabras Clave. Cálculo Diferencial, Plataforma Web, Robot Tutor

ABSTRACT

Higher education is undergoing a transformation driven by digital technologies that have improved access to and flexibility of learning. However, the challenge of maintaining student attention and motivation in virtual environments persists, especially in abstract subjects like Differential Calculus, which negatively impacts their learning. This paper presents the design and implementation of a blended learning solution comprised of an interactive web platform and a computer vision-enabled tutor robot. These solutions aim to strengthen motivation and learning through multimedia resources, guided exercises with automatic feedback, practical challenges, and real-time attention monitoring. The research was conducted as an exploratory pilot study with Systems Engineering students, focused on evaluating the usability, acceptance, and initial impact of the web platform, implemented in the third phase of the course. The results showed favorable levels of usability, with an average SUS score of 76.41 points (on a scale of 0–100), considered “good.” Likewise, the TAM model showed high intention of future use (4.35 points on a Likert scale of 1 to 5) and perceived ease of use (4.23 points on a Likert scale of 1 to 5). In the academic sphere, a significant improvement in performance was observed, with an increase in the mean from 4.50 to 7.95 points (on a scale of 0–20) in the pre-test and post-test ($p < 0.00001$). Additionally, the Motivational Learning Strategies Questionnaire (MSLQ) reported high levels of intrinsic motivation, self-efficacy, and perceived usefulness. The integrated system was validated by experts, who highlighted its technical coherence and pedagogical relevance. Overall, the results validate the technical and pedagogical feasibility of the proposal, demonstrating its initial impact on student learning and motivation.

Keywords. Differential Calculus, Web Platform, Robot Tutor

Índice general

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I..... 3

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN..... 4

1.1. Planteamiento del problema..... 4

1.2. Objetivos de la Investigación 6

1.2.1. Objetivo General 6

1.2.2. Objetivos Específicos..... 6

1.3. Preguntas de Investigación..... 7

1.4. Hipótesis, Variables e Indicadores..... 8

1.4.1. Hipótesis..... 8

1.4.2. Variables e Indicadores..... 8

1.5. Línea y Sublínea de Investigación 9

1.6. Solución Propuesta..... 9

1.6.1. Justificación e Importancia..... 9

1.6.2. Descripción de la Solución..... 12

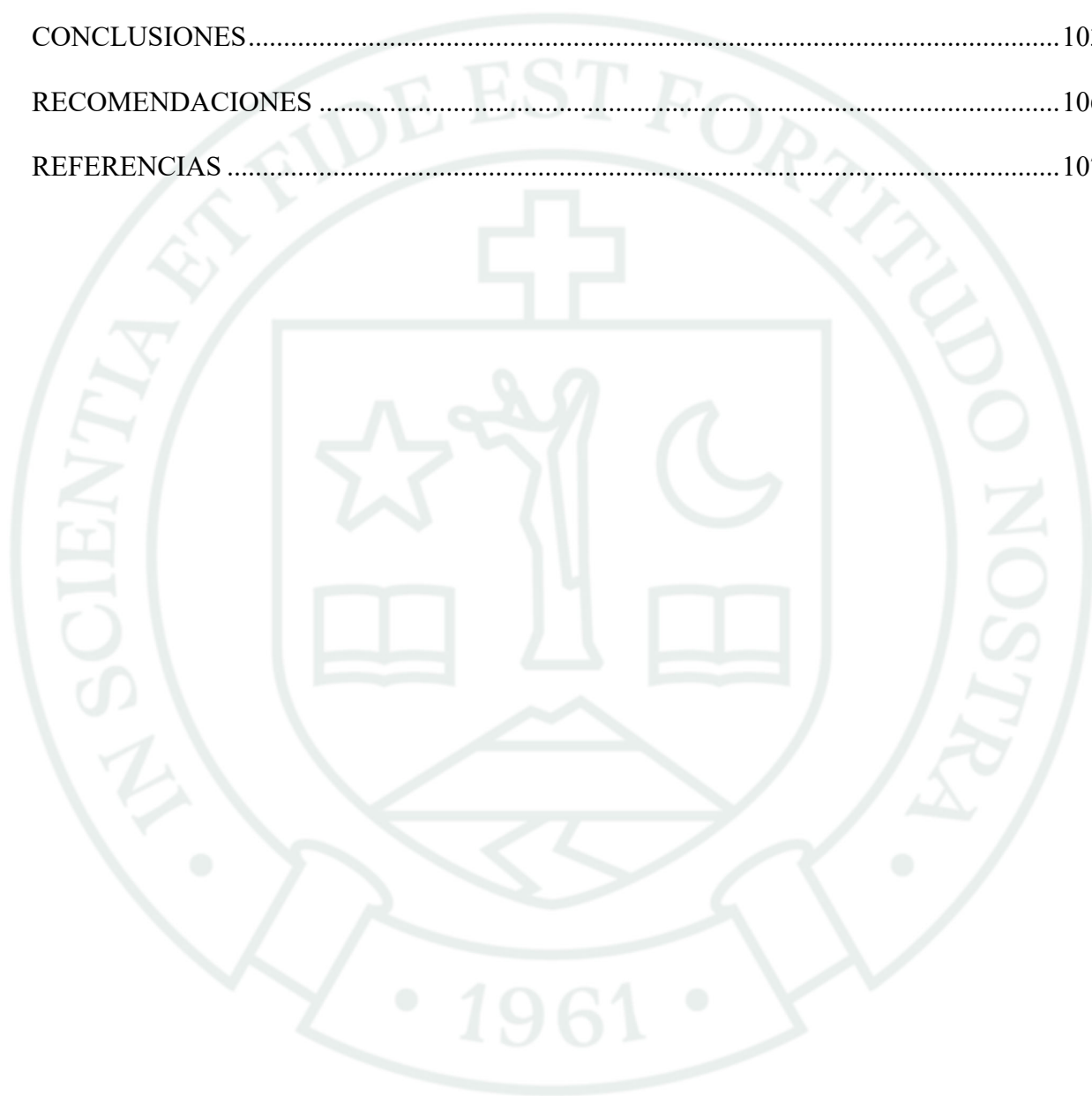
1.6.3. Aporte..... 13

1.6.4. Matriz de Operacionalización	15
CAPÍTULO II	16
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	17
2.1. Antecedentes de Investigación.....	17
2.2. Estado del Arte	19
2.3. Bases Teóricas de la Investigación.....	26
2.3.1. Cálculo Diferencial	26
2.3.2. Plataforma web.....	27
2.3.3. Recursos didácticos.....	29
2.3.4. Robot tutor.....	31
2.3.5. Inteligencia Artificial.....	33
2.3.6. Visión computacional.....	35
CAPÍTULO III.....	38
3. MARCO METODOLÓGICO	39
3.1. Alcances y Limitaciones	39
3.2. Tipo y Nivel de Investigación	40
3.3. Universo, Población y Muestra	41
3.3.1. Universo	41
3.3.2. Población.....	41
3.3.3. Muestra.....	41

3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	42
3.4.1. Metodología de Desarrollo.....	42
3.4.2. Técnicas de recolección de datos	43
3.4.3. Instrumentos de recolección de datos.....	44
3.4.4. Técnicas de procesamiento de datos	45
3.4.5. Herramientas para el procesamiento de datos	46
CAPÍTULO IV.....	47
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	48
4.1. Descripción general de la propuesta.....	48
4.2. Análisis del problema y requerimientos.....	49
4.3. Diseño del sistema.....	50
4.3.1. Diseño de los recursos didácticos.....	51
4.3.2. Implementación.....	51
4.3.3. Diseño del robot tutor.....	58
4.3.4. Diseño de la integración del sistema	60
4.4. Selección e integración tecnológica	67
4.4.1. Herramientas	67
4.4.2. Materiales	68
4.5. Desarrollo funcional.....	68
4.5.1. Implementación de la plataforma web	68

4.5.2.	Desarrollo del robot tutor	73
4.6.	Pruebas e integración	76
4.7.	Validación.....	79
4.7.1.	Lista de verificación técnica.....	80
4.7.2.	Encuesta SUS	82
4.7.3.	Encuesta TAM.....	82
4.7.4.	Cuestionario de Estrategias Motivadas para el Aprendizaje (MSLQ)	83
4.7.5.	Prueba Pretest y Postest.....	83
4.7.6.	Ficha de evaluación técnica por expertos.....	83
CAPÍTULO V	84
5. ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS	85
5.1.	Pruebas e integración	85
5.1.1.	Sistema integrado	85
5.1.1.1.	Funcionalidad del sistema integrado	86
5.1.1.2.	Funcionalidad e integración del robot	87
5.1.2.	Nivel de aprendizaje.....	87
5.1.2.1.	Análisis de resultados pretest y postest	87
5.1.3.	Nivel de motivación	89
5.1.3.1.	Análisis de resultados del cuestionario MSLQ	89
5.1.4.	Aceptación.....	91

5.1.4.1. Facilidad de uso de la plataforma web	91
5.1.4.2. Análisis de resultados del modelo TAM.....	94
5.2. Discusión.....	96
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS	107

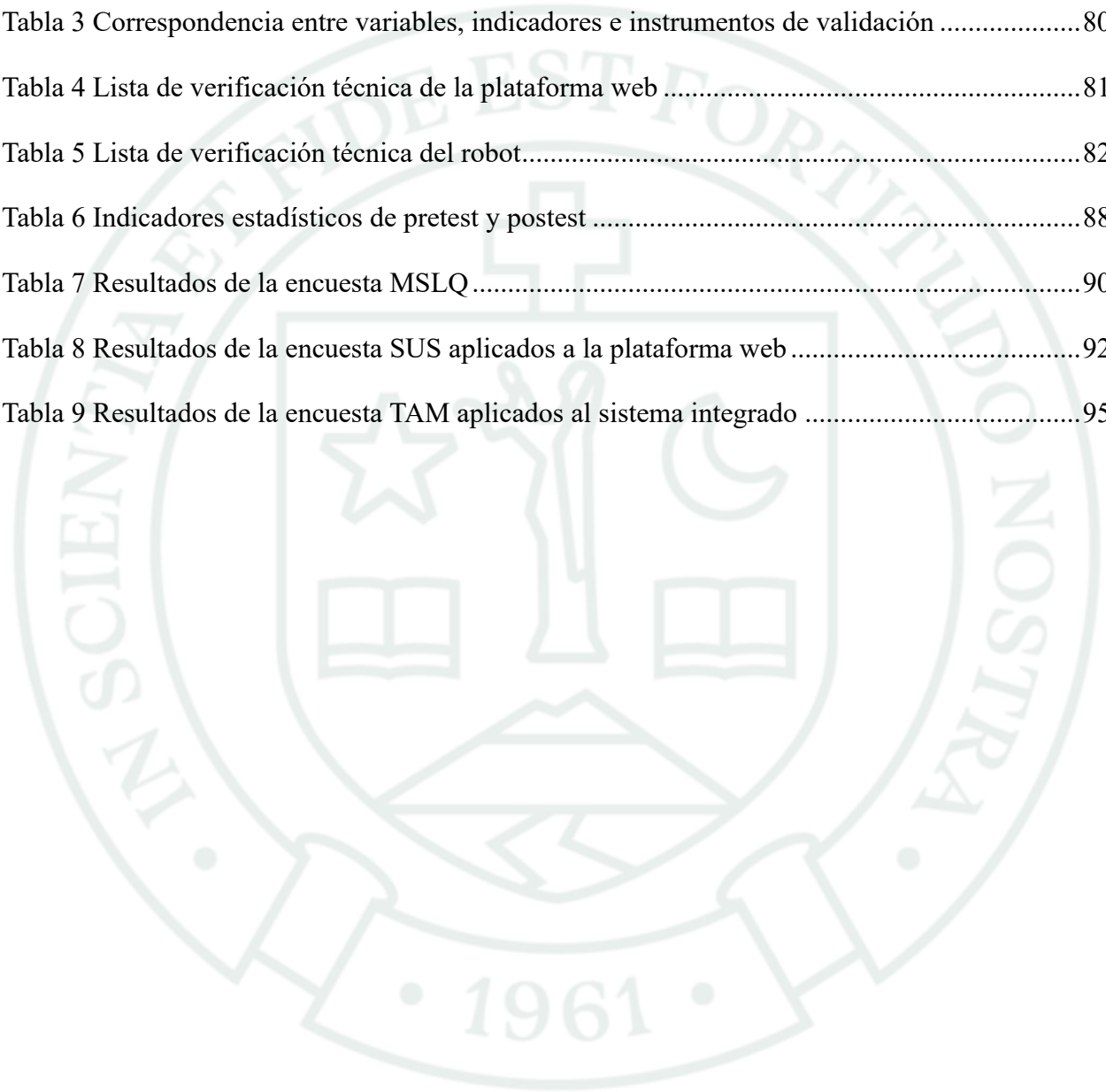


Índice de Figuras

Figura 1 Arquitectura física de la plataforma web	52
Figura 2 Página de inicio de sesión.....	53
Figura 3 Página de inicio.....	54
Figura 4 Página de contenido	55
Figura 5 Página de video.....	56
Figura 6 Página de ejercicio	57
Figura 7 Retroalimentación del ejercicio	57
Figura 8 Página de desafío	58
Figura 9 Arquitectura del robot	59
Figura 10 Prototipo final del Robot.....	60
Figura 11 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.....	63
Figura 12 Diagrama de casos de uso del Sistema Integrado.....	66
Figura 13 Estructura de navegación	69
Figura 14 Modelo relacional	70
Figura 15 Esquema de integración tecnológica.....	76
Figura 16 Resultados test de la plataforma	77
Figura 17 Log de estado de atención.....	78
Figura 18 Distribución de promedios por dimensión MSLQ.....	90
Figura 19 Distribución de puntaje SUS plataforma web.....	94
Figura 20 Distribución de promedios por dimensión TAM	96

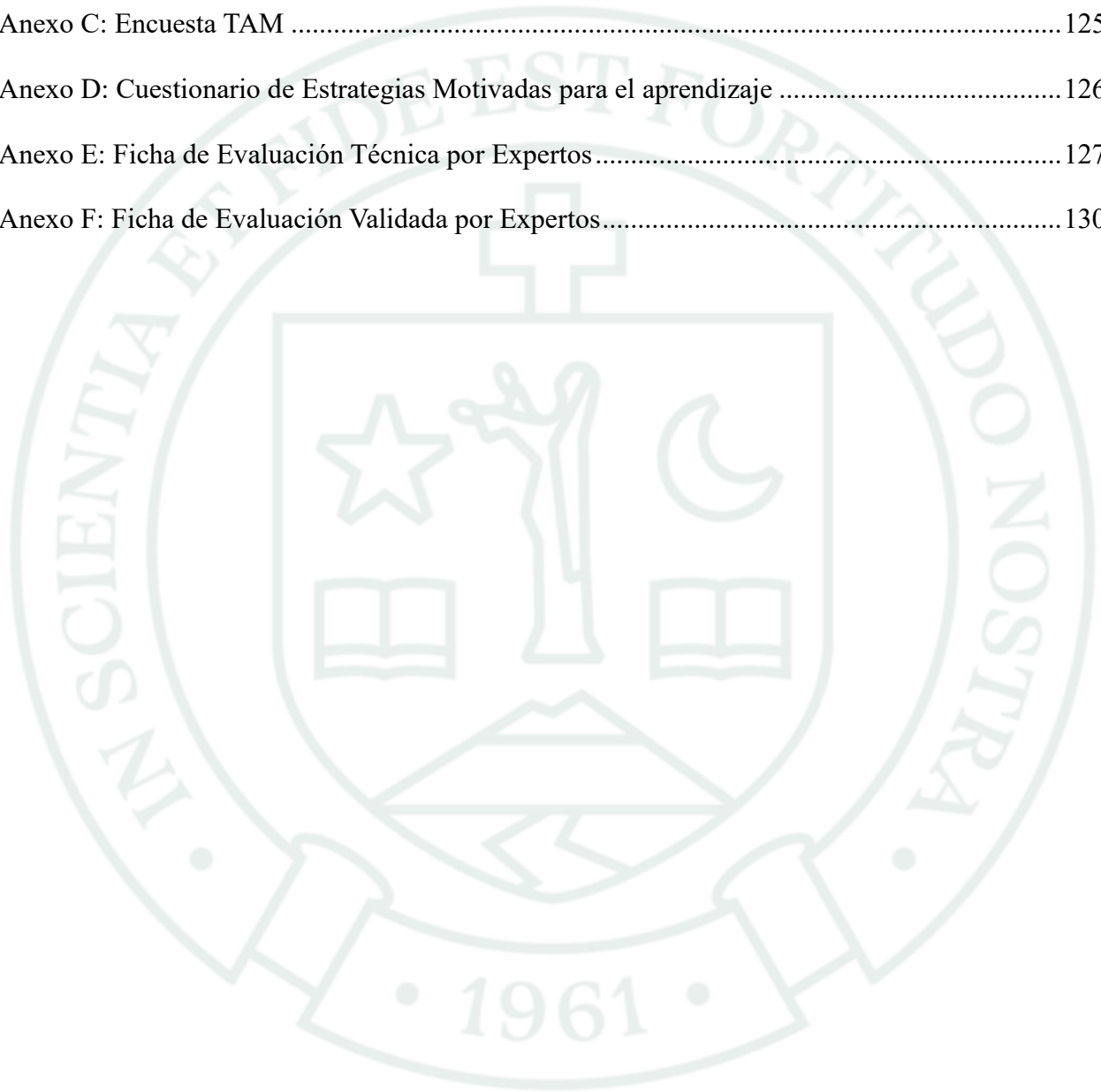
Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de las variables	15
Tabla 2 Detalles de notas Fase 1	50
Tabla 3 Correspondencia entre variables, indicadores e instrumentos de validación	80
Tabla 4 Lista de verificación técnica de la plataforma web	81
Tabla 5 Lista de verificación técnica del robot.....	82
Tabla 6 Indicadores estadísticos de pretest y postest	88
Tabla 7 Resultados de la encuesta MSLQ.....	90
Tabla 8 Resultados de la encuesta SUS aplicados a la plataforma web	92
Tabla 9 Resultados de la encuesta TAM aplicados al sistema integrado	95



Índice de Anexos

Anexo A: Requisitos Funcionales y No Funcionales	120
Anexo B: Encuesta SUS.....	124
Anexo C: Encuesta TAM	125
Anexo D: Cuestionario de Estrategias Motivadas para el aprendizaje	126
Anexo E: Ficha de Evaluación Técnica por Expertos.....	127
Anexo F: Ficha de Evaluación Validada por Expertos.....	130



INTRODUCCIÓN

Durante los últimos diez años, la educación universitaria ha cambiado debido al uso de tecnologías digitales que han hecho el aprendizaje más flexible y accesible (Kumar et al., 2021). No obstante, este progreso también ha traído nuevos obstáculos, como la dificultad para que los estudiantes se mantengan atentos y motivados en entornos en línea o híbridos, donde suele haber menos interacción personalizada y más distracciones (Espinoza-Freire, 2022). A pesar de que las plataformas en línea se han vuelto recursos educativos valiosos, como Platzi, Coursera, Udemy o Netzun muchas siguen enfocándose solo en compartir información, sin incluir aspectos importantes como comentarios rápidos, apoyo motivacional o seguimiento de la atención en tiempo real (Malpica Rodriguez et al., 2022). Esta limitación es especialmente problemática en materias como Cálculo Diferencial, que son muy abstractas y desafiantes, ya que simplemente digitalizar los materiales no asegura una experiencia de aprendizaje eficaz.

En una Universidad privada de Arequipa, el curso de Cálculo Diferencial es esencial para la formación en Ingeniería de Sistemas, pero también es una de las principales razones por las que los estudiantes se atrasan. Pasar esta materia se ha reconocido como crucial para que los estudiantes continúen y triunfen en su carrera, ya que ayuda a desarrollar habilidades analíticas necesarias para las asignaturas futuras (Baisley & Dean Adams, 2019; Vera Pisco et al., 2023). Sin embargo, problemas como la falta de conocimientos previos, métodos de enseñanza que no se ajustan a las necesidades y la falta de recursos que integren teoría con apoyo motivacional llevan a un bajo desempeño académico. Para abordar este problema, se ha evidenciado en la literatura que el uso de tecnologías interactivas, aplicaciones educativas y la inteligencia artificial mejoran la comprensión de conceptos complicados y fomentan la participación activa de los estudiantes (Hwang et al., 2023; Pepin et al., 2021). De forma similar, la robótica educativa ha mostrado un

efecto positivo en la motivación y en la enseñanza de ideas difíciles, además de ofrecer apoyo emocional inmediato (Adnan et al., 2023). Investigaciones recientes destacan que los robots pueden anticipar y aumentar el compromiso de los estudiantes con gran precisión, lo que respalda su efectividad en el entorno educativo (Zamora et al., 2025).

Ante esta brecha surge la necesidad de una solución que integre de manera coordinada los beneficios de plataformas digitales y dispositivos físicos. Por ello, la presente investigación propone el diseño, construcción e implementación de una plataforma web con recursos multimedia, ejercicios guiados y desafíos prácticos, integrada a un robot tutor con visión computacional capaz de monitorear la atención, emitir señales luminosas, reproducir música instrumental en situaciones específicas y registrar automáticamente los periodos de atención y distracción de los estudiantes.

La propuesta se plantea como un estudio exploratorio con enfoque piloto, cuyo propósito es evaluar la viabilidad técnica del sistema propuesto, la usabilidad de la plataforma web, la percepción estudiantil y su impacto inicial en el aprendizaje y la motivación en el curso de Cálculo Diferencial. En esta etapa, la implementación con estudiantes se centró específicamente en el uso de la plataforma web durante la tercera fase del curso, mientras que el sistema integrado (robot y plataforma) fue sometido a un proceso de validación por expertos para valorar su coherencia técnica, factibilidad de implementación y funcionalidad.

El presente trabajo se estructura en cinco capítulos: el primero expone el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación; el segundo desarrolla los fundamentos teóricos que sustentan la propuesta; el tercero describe el marco metodológico; el cuarto presenta el desarrollo del sistema; y el quinto expone el análisis y la validación de los resultados obtenidos.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la última década, la educación ha atravesado una transformación significativa, impulsada por la incorporación de tecnologías digitales que han reformulado los modelos de enseñanza tradicionales (Kumar et al., 2021). Esta evolución ha favorecido la accesibilidad y flexibilidad del aprendizaje en todos los niveles educativos, incluyendo la educación superior, fomentando el uso de herramientas digitales, plataformas virtuales y nuevas metodologías de enseñanza. Sin embargo, esta transformación también ha traído consigo nuevos desafíos, especialmente en la adaptación y diseño de recursos tecnológicos que respondan a las necesidades pedagógicas reales de los estudiantes.

Uno de los principales desafíos es la dificultad para mantener la atención y la motivación del estudiante, lo que impacta en su nivel de aprendizaje; especialmente en entornos digitales, donde la interacción personalizada suele ser limitada y las distracciones más frecuentes (Espinoza-Freire, 2022). Aunque los docentes han integrado plataformas virtuales en sus cursos, muchas de estas herramientas siguen centradas únicamente en la transmisión de contenido y no consideran elementos clave como el acompañamiento emocional, el monitoreo del estado atencional o la retroalimentación motivacional en tiempo real (Malpica Rodriguez et al., 2022). Esto es especialmente relevante en asignaturas como Cálculo Diferencial, caracterizadas por su alto nivel de abstracción y complejidad matemática, donde la simple digitalización de materiales no garantiza una experiencia de aprendizaje más efectiva.

En el contexto de la carrera de Ingeniería de Sistemas en una Universidad privada de Arequipa, el curso de Cálculo Diferencial representa uno de los cursos fundamentales del primer

año, y es, al mismo tiempo, una de las principales causas de rezago académico. Estudios recientes han resaltado que superar satisfactoriamente esta asignatura es un factor determinante para la permanencia del estudiante en la carrera, ya que sienta las bases para cursos avanzados y fortalece las competencias analíticas necesarias en la formación ingenieril (Baisley & Dean Adams, 2019; Vera Pisco et al., 2023). Sin embargo, múltiples factores afectan el desempeño de los estudiantes en este curso, incluyendo vacíos en conocimientos matemáticos previos, estilos de enseñanza poco adaptativos, baja interacción docente-estudiante y una ausencia marcada de recursos que integren contenido teórico con apoyo motivacional y seguimiento personalizado.

Ante esta realidad, la tecnología representa una oportunidad estratégica para transformar la experiencia de aprendizaje. Investigaciones recientes destacan el impacto positivo del uso de software interactivo, aplicaciones educativas y herramientas basadas en inteligencia artificial para mejorar la comprensión de conceptos abstractos, aumentar la participación del estudiante y ofrecer rutas de aprendizaje personalizadas (Hwang et al., 2023; Pepin et al., 2021). Asimismo, se ha demostrado que los robots educativos pueden incrementar la motivación, facilitar la explicación de conceptos complejos y ofrecer apoyo emocional en tiempo real durante el proceso de aprendizaje (Adnan et al., 2023). Sin embargo, la mayoría de estas soluciones actúan de manera aislada, sin una integración efectiva entre plataformas digitales y dispositivos físicos que actúen coordinadamente para potenciar los resultados.

Frente a esta brecha, surge la necesidad de una solución que ayude a mejorar el nivel de aprendizaje y motivación de los estudiantes respecto a la asignatura de Cálculo Diferencial, la presente investigación se centra en el diseño, construcción e integración de una solución que combine una plataforma web interactiva con un robot tutor, basado en visión computacional, para asistir al estudiante durante la resolución de ejercicios de Cálculo Diferencial. Mientras que la

plataforma web se encargará de ofrecer videos explicativos, preguntas guiadas con retroalimentación inmediata y desafíos prácticos que el estudiante resolverá de manera autónoma, el robot tutor cumplirá la función de monitorear la atención mediante análisis visual, encender señales luminosas según el estado atencional, reproducir música instrumental en situaciones específicas y registrar automáticamente los periodos de atención y distracción.

Si bien el uso de robots educativos y plataformas digitales ofrece un gran potencial para mejorar el aprendizaje, aún es necesario determinar de manera empírica cómo estas herramientas pueden integrarse de manera efectiva en el entorno educativo y cómo pueden mejorar el aprendizaje y motivación en Cálculo Diferencial, de esta manera contribuir a reducir los índices de deserción, falta de motivación y bajo rendimiento en contextos reales de enseñanza. Este trabajo busca sentar las bases para futuras investigaciones que permitan escalar, perfeccionar y validar este tipo de herramientas, contribuyendo a la construcción de un ecosistema educativo más rico, personalizado y alineado con las demandas del siglo XXI.

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar e integrar una plataforma web interactiva y un prototipo de robot tutor con visión computacional para el aprendizaje de Cálculo Diferencial en estudiantes de Ingeniería de Sistemas de una universidad privada de Arequipa.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Analizar el estado inicial del nivel de aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería de Sistemas en la asignatura de cálculo diferencial

2. Diseñar y construir una plataforma web interactiva que incluya recursos guiados con retroalimentación automática y desafíos prácticos para contenidos seleccionados de la asignatura de Cálculo Diferencial.
3. Diseñar y construir un prototipo funcional de robot tutor interactivo con capacidad de detección básica de atención visual, señales luminosas de estado (atento/distraído), generación de estímulos motivacionales y relajantes según el tipo de actividad en la plataforma, y almacenamiento automatizado de datos sobre los tiempos de atención.
4. Integrar el robot tutor como componente funcional de la plataforma web, asegurando su sincronización en tiempo real durante los ejercicios guiados (detección de atención, mensajes de feedback y registro de datos) y en los desafíos prácticos (música de acompañamiento).
5. Validar el impacto inicial en el nivel de aprendizaje y motivación de los estudiantes a través de pruebas y encuestas aplicadas a un grupo reducido de estudiantes de Ingeniería de Sistemas.

1.3. Preguntas de Investigación

1. ¿Es posible desarrollar e integrar una plataforma web interactiva con un prototipo de robot tutor con visión computacional y evaluar su potencial para favorecer el aprendizaje y la motivación de los estudiantes de Ingeniería de Sistemas en la asignatura de Cálculo Diferencial?
2. ¿Cuál es el estado inicial del nivel de aprendizaje de los estudiantes en la asignatura de cálculo diferencial?
3. ¿Qué características deben tener la plataforma web interactiva y el robot tutor para ser un apoyo en el aprendizaje de contenidos de Cálculo Diferencial?

4. ¿Qué impacto tiene el uso de la plataforma web interactiva en el nivel de aprendizaje y motivación de los estudiantes?
5. ¿Cómo valoran los expertos la viabilidad técnica y funcionalidad del prototipo de robot tutor y su integración con la plataforma web?

1.4. Hipótesis, Variables e Indicadores

1.4.1. Hipótesis

El desarrollo de una plataforma web interactiva y el prototipo de un robot tutor con visión computacional constituyen una propuesta tecnológica que permite evidenciar una mejora inicial en el aprendizaje y la motivación de los estudiantes respecto a la asignatura de Cálculo Diferencial

1.4.2. Variables e Indicadores

1. Variable Independiente:

- Sistema Integrado: Plataforma web interactiva con robot tutor
 - Indicador: Cumplimiento de requisitos funcionales.
 - Indicador: Puntaje de evaluación técnica del prototipo por expertos

2. Variables Dependientes:

- Nivel de aprendizaje
 - Indicador: Variación entre las puntuaciones de pretest y postest
- Motivación
 - Indicador: Puntuación obtenida en Cuestionario de Estrategias Motivadas para el Aprendizaje (MSLQ).
- Aceptación
 - Indicador: Puntaje de facilidad de uso de la plataforma.

- Indicador: Puntuación obtenida en Encuesta de Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM)

1.5. Línea y Sublínea de Investigación

1. Línea de Investigación: inteligencia artificial
2. Sublínea de Investigación: visión computacional

1.6. Solución Propuesta

1.6.1. Justificación e Importancia

En la educación universitaria, los primeros años son cruciales para garantizar la permanencia y éxito de los estudiantes en sus respectivas carreras. En este sentido, las carreras STEM, especialmente ingeniería, presentan un desafío significativo debido a la complejidad de cursos como el cálculo diferencial. Se ha demostrado que un tercio de los estudiantes universitarios no culmina sus estudios, y una de las principales razones es la dificultad en las asignaturas relacionadas con las matemáticas (Bradburn, 2002). La falta de preparación matemática adecuada, combinada con la estructura tradicional de enseñanza, ha generado altas tasas de deserción en los primeros años de esta (López-Díaz & Peña, 2022).

El informe PISA 2022 (Oficina de Medición de la Calidad de los Aprendizajes, 2024) revela que Perú ocupa el puesto 59 en matemáticas a nivel mundial, lo que evidencia deficiencias en la formación matemática desde etapas previas a la universidad. Este bajo rendimiento académico tiene repercusiones en la comprensión de conceptos fundamentales, reduciendo la motivación de los estudiantes y afectando negativamente su desempeño en asignaturas como cálculo (Belser et al., 2018). Ante este panorama, resulta necesario implementar nuevas estrategias

pedagógicas y herramientas tecnológicas que favorezcan un aprendizaje más dinámico y accesible, garantizando un proceso educativo más eficiente y motivador.

El avance de la tecnología ha abierto nuevas oportunidades en la educación, permitiendo la incorporación de metodologías innovadoras que mejoran la experiencia de aprendizaje. Estudios recientes han demostrado que el uso de herramientas de e-learning contribuye significativamente a generar un aprendizaje sostenible y efectivo (Li & Wang, 2024). En particular, la implementación de plataformas digitales con recursos interactivos ha demostrado mejorar la comprensión y participación de los estudiantes (Drozdikova-Zaripova & Sabirova, 2020).

Dentro de estas innovaciones, la integración de robots educativos representa una estrategia prometedora para el acompañamiento de los estudiantes en su proceso de aprendizaje. Investigaciones previas han demostrado que el uso de robots con visión computacional y algoritmos de inteligencia artificial mejora la experiencia educativa al proporcionar una interacción adaptativa y personalizada (Adnan et al., 2023). Por ejemplo, estudios han demostrado que la implementación de robots programables para fomentar el pensamiento computacional en niños ha resultado altamente efectiva (X. Zhang et al., 2024). No obstante, la aplicación de esta tecnología en el nivel universitario, especialmente en cursos de alta dificultad como Cálculo Diferencial, aún requiere mayor exploración para determinar su impacto en el rendimiento académico y la motivación estudiantil.

Este estudio se justifica en la necesidad de desarrollar una solución innovadora que combine el potencial de la inteligencia artificial y los recursos digitales para optimizar la enseñanza de Cálculo Diferencial en la educación superior. La propuesta de una plataforma web con recursos didácticos interactivos, complementada con un robot tutor que utiliza visión computacional para

monitorear la atención de los estudiantes y brindar retroalimentación en tiempo real, busca atender las principales dificultades detectadas en el aprendizaje de esta asignatura clave.

La importancia de este trabajo radica en su potencial para ofrecer una experiencia educativa más personalizada y centrada en las necesidades emocionales y cognitivas del estudiante. La combinación de una plataforma flexible con un asistente físico capaz de detectar señales de distracción permite intervenir en el momento preciso y mantener al estudiante enfocado y comprometido con su aprendizaje. Esta propuesta responde no solo a una necesidad académica, sino también a un enfoque de innovación educativa alineado con las tendencias globales en enseñanza personalizada (Pelletier et al., 2023).

La relevancia de este trabajo radica en tres aspectos fundamentales. Primero, contribuye al desarrollo de soluciones híbridas que combinan lo digital y lo físico, integrando plataformas web con robots interactivos para ofrecer una experiencia educativa más completa. Segundo, genera evidencia preliminar sobre la viabilidad técnica y percepción de estos sistemas en un contexto universitario real, lo que es particularmente valioso dado que la mayoría de los estudios existentes se han centrado en niveles educativos inferiores (Malpica Rodriguez et al., 2022). Finalmente, responde a una necesidad concreta del contexto local: fortalecer las estrategias de aprendizaje en una asignatura crítica para la formación de los futuros ingenieros de sistemas de una universidad privada de Arequipa (Baisley & Dean Adams, 2019; Vera Pisco et al., 2023).

En resumen, esta investigación es relevante y necesaria porque propone un enfoque multidimensional, combinando el desarrollo tecnológico con la exploración pedagógica, para atender los desafíos del aprendizaje universitario en tiempos de transformación digital. El diseño, construcción e integración del sistema, junto con la realización de un estudio validado, aportará

conocimientos útiles no solo para la universidad privada donde se aplicará, sino también para otras instituciones interesadas en innovar en el campo de la educación matemática universitaria.

1.6.2. Descripción de la Solución

La solución propuesta en este proyecto consiste en el diseño, desarrollo e integración de un sistema innovador que combina una plataforma web interactiva con un prototipo funcional de robot tutor, orientado a apoyar el aprendizaje autónomo y el refuerzo de contenidos en cálculo diferencial. Este sistema no busca sustituir las clases presenciales ni reorganizar la estructura temporal de las sesiones académicas, sino complementar los procesos de aprendizaje mediante recursos digitales y físicos que permitan al estudiante practicar, consolidar conocimientos y recibir estímulos motivacionales durante su estudio independiente.

La plataforma web funcionará como el entorno principal de aprendizaje, esta contiene videos explicativos de temas clave del curso, diseñados para facilitar la comprensión de conceptos teóricos complejos. Además, incluye ejercicios guiados paso a paso con preguntas de opción múltiple, donde cada respuesta es retroalimentada de manera inmediata. En caso de errores, la plataforma ofrece fragmentos de video específicos que explican el procedimiento correcto, permitiendo que el estudiante comprenda sus fallos y avance de manera autónoma. Finalmente, cada bloque de contenido culmina con desafíos prácticos, que el estudiante debe resolver manualmente y registrar en la plataforma, recibiendo al finalizar la solución correcta mediante un video detallado.

Con el uso de la plataforma se espera una mejora significativa en la comprensión de conceptos clave de Cálculo Diferencial, una mayor participación en la práctica autónoma y un incremento en la motivación hacia la asignatura.

El robot tutor se integra como un agente físico complementario al entorno digital, con dos funciones principales. Durante los ejercicios guiados, el robot detecta si el estudiante mantiene la atención visual en la pantalla o si se distrae desviando la mirada. Según el estado detectado, el robot enciende una luz verde (atención) o roja (distracción), proporcionando una señal inmediata que ayuda al estudiante a regular su comportamiento. Además, durante los desafíos prácticos, donde el estudiante trabaja manualmente, el robot reproduce música ambiental relajante para acompañar emocionalmente el proceso de resolución.

Con la integración del robot con visión computacional se busca incrementar la atención sostenida durante el estudio, generar un ambiente de trabajo más agradable y reducir los niveles de distracción, lo cual contribuirá a mejorar el rendimiento académico.

Este proyecto está enfocado en el diseño técnico del sistema, su integración funcional y la realización de un estudio que permita evaluar el impacto inicial en el nivel de aprendizaje y motivación de los estudiantes hacia la asignatura.

1.6.3. Aporte

La presente investigación ofrece un aporte significativo al área de Ingeniería de Sistemas al integrar tecnologías de desarrollo web, inteligencia artificial y visión computacional para enfrentar un problema educativo crítico: la dificultad en el aprendizaje del Cálculo Diferencial. Esta solución tecnológica se orienta al diseño, desarrollo e integración de una plataforma web interactiva y un robot inteligente, lo cual representa un enfoque sistémico y multidisciplinario propio de esta rama de la ingeniería.

Desde la perspectiva de la Ingeniería de Sistemas, el principal aporte radica en la implementación de un sistema educativo inteligente que fusiona componentes de software y

hardware para ofrecer una experiencia de aprendizaje personalizada. Esta integración implica el diseño de arquitecturas modulares, la integración de sistemas, el procesamiento de datos en tiempo real y la interacción humano-máquina, todos elementos clave en la formación y práctica profesional del ingeniero de sistemas.

Asimismo, el proyecto contribuye a la innovación en los modelos educativos digitales, generando una base metodológica y técnica que puede replicarse o adaptarse a otros contextos académicos. Al aplicar metodologías de desarrollo, sistemas de evaluación de usuarios, análisis de datos académicos y algoritmos de detección de atención mediante visión computacional, se refuerzan competencias propias del campo como la gestión de proyectos tecnológicos, el diseño centrado en el usuario, la inteligencia artificial aplicada y la analítica del aprendizaje.

Finalmente, esta investigación fomenta la exploración de nuevas aplicaciones de la inteligencia artificial y la robótica educativa en contextos universitarios, abriendo oportunidades para el desarrollo de soluciones similares en otros cursos complejos o en entornos donde el acompañamiento personalizado es limitado. En conjunto, el trabajo contribuye a posicionar a la Ingeniería de Sistemas como un agente transformador de la educación superior a través de soluciones tecnológicas que mejoran la calidad, la equidad y la eficiencia del aprendizaje.

1.6.4. Matriz de Operacionalización

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Tipo de Variable	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Independiente	Sistema integrado	Funcionalidad	Cumplimiento de requisitos funcionales	Lista de verificación técnica
		Evaluación técnica del prototipo	Puntaje obtenido según rúbrica de evaluación por expertos	Ficha técnica de evaluación por expertos
Dependiente	Nivel de aprendizaje	Resultado académico	Variación entre las puntuaciones de pretest y postest	Exámenes pretest y postest
	Motivación	Motivación respecto a la asignatura	Puntuación obtenida en cuestionario	Cuestionario de Estrategias Motivadas para el Aprendizaje (MSLQ)
	Aceptación	Usabilidad de la plataforma	Puntuación obtenida en la encuesta	Encuesta de Usabilidad y Satisfacción (SUS)



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes de Investigación

Diversas investigaciones han demostrado el impacto positivo de las tecnologías digitales y robóticas en el proceso de enseñanza-aprendizaje, especialmente en contextos donde se busca mejorar la comprensión en materias complejas como las matemáticas. El uso de plataformas web en la educación ha sido reconocido por su eficacia para facilitar el aprendizaje autónomo y mejorar la participación estudiantil. Por ejemplo, (York et al., 2019) analizó un programa en línea para residentes de medicina, evidenciando altos índices de satisfacción y resaltando el potencial de las plataformas digitales como herramientas esenciales para la formación continua. En el contexto peruano (Hidalgo et al., 2019) identificó que los sistemas de gestión de aprendizaje (LMS) y las redes sociales (SNS) han evolucionado como recursos clave que promueven la interacción, el pensamiento crítico y el trabajo colaborativo entre los estudiantes.

Asimismo, investigaciones como las de (Auccahuasi et al., 2018; Luna et al., 2018) desarrollaron un sistema de simulación interactivo para apoyar la enseñanza de física, centrado en la representación gráfica de fenómenos y en la interacción dinámica con los usuarios. Este estudio destaca la importancia de diseñar soluciones que no solo entreguen contenidos, sino que permitan al estudiante explorar, experimentar y recibir retroalimentación inmediata, potenciando así un aprendizaje más activo. Además, el trabajo incluye etapas de implementación y validación técnica, lo que lo convierte en un referente metodológico para investigaciones que, como la presente, buscan generar prototipos innovadores y probar su funcionalidad en entornos reales.

En el campo de la robótica educativa, los estudios de (Mezenceva et al., 2019) propusieron el uso de robots modulares de bajo costo como herramientas educativas eficaces, resaltando su

potencial para mejorar la calidad de los programas de enseñanza en robótica y programación. Mientras que (Nelson et al., 2015) diseñaron un sistema de robots educativos para apoyar la enseñanza de álgebra básica, incluyendo fases piloto exploratorias para evaluar su funcionamiento, aceptación y percepción estudiantil. Este trabajo es particularmente útil porque combina diseño tecnológico con evaluación práctica, alineándose a los objetivos actuales de este proyecto, que busca no solo construir una solución funcional, sino también explorar su factibilidad técnica y percepción inicial mediante pruebas piloto

Complementando estos enfoques, el uso de recursos audiovisuales como los videos tutoriales también ha sido valorado positivamente en el aprendizaje de asignaturas como cálculo diferencial. (Lalian, 2018; Yanapa Zapana, 2020) concluyen que los videos educativos fomentan la motivación de los estudiantes, mejoran la comprensión de los contenidos y fortalecen el aprendizaje autónomo, especialmente en contextos donde se presentan dificultades con los enfoques tradicionales.

Finalmente, desde un enfoque contextual, (Condori Chambi, 2015) identificó en un estudio en la Universidad Católica de Santa María que uno de los principales factores que contribuyen a la alta tasa de desaprobación en Cálculo Diferencial es la falta de participación del estudiante durante el proceso de aprendizaje. Este hallazgo refuerza la necesidad de incorporar soluciones que promuevan mayor compromiso y monitoreo continuo del estado cognitivo y emocional del estudiante, como la integración de tecnologías inteligentes.

En conjunto, estos antecedentes evidencian que el desarrollo de soluciones tecnológicas para la educación no solo requiere un enfoque pedagógico, sino también un sólido componente técnico que asegure la funcionalidad, la sincronización entre componentes, la calidad de los registros generados y la aceptación por parte de los usuarios. La presente investigación se

posiciona en este marco, enfocándose en el diseño, desarrollo e integración de un sistema híbrido (plataforma web y robot tutor) y en la realización de un estudio piloto exploratorio que permita evaluar su percepción, factibilidad técnica y potencial de aplicación futura. Este trabajo no busca aún demostrar impactos pedagógicos amplios, sino sentar las bases para futuras investigaciones y aplicaciones escaladas en contextos universitarios.

2.2. Estado del Arte

El avance de las tecnologías digitales en educación ha permitido no solo rediseñar los procesos de enseñanza-aprendizaje, sino también innovar en la creación de entornos híbridos que combinan componentes físicos y virtuales. En este contexto, múltiples investigaciones han explorado el desarrollo, la integración y la validación de plataformas tecnológicas aplicadas a la enseñanza de materias complejas, mostrando cómo estos sistemas pueden mejorar la experiencia educativa, siempre y cuando sean diseñados con una base metodológica y técnica sólida.

Los estudios de (Alabdulaziz, 2021; Barana et al., 2021; Clark-Wilson et al., 2020) han aportado información valiosa sobre sus beneficios. (Clark-Wilson et al., 2020) destacan cómo las simulaciones, las plataformas educativas y los mecanismos de retroalimentación personalizados mejoran la participación y la comprensión de los estudiantes en materias difíciles como la matemática. Argumentan que las herramientas digitales permiten experiencias de aprendizaje más individualizadas, lo que permite a los estudiantes progresar a su propio ritmo. De manera similar, (Alabdulaziz, 2021) destaca cómo la rápida adopción de tecnologías de aprendizaje digital durante la pandemia, en particular a través de plataformas como Khan Academy, proporcionó un aprendizaje adaptativo que ayudó a abordar las deficiencias de los estudiantes en la comprensión matemática, impulsando aún más la participación y el rendimiento. Como complemento, (Barana et al., 2021) se centran en el papel de la retroalimentación interactiva en tiempo real en los entornos

de aprendizaje digital, mostrando cómo mejora las habilidades de resolución de problemas y la comprensión de conceptos complejos al proporcionar correcciones inmediatas a los errores de los estudiantes. Estas investigaciones concluyen que, las herramientas digitales mejoran significativamente el proceso de aprendizaje de las matemáticas al personalizar la experiencia de aprendizaje, ofrecer retroalimentación instantánea y hacer que el proceso de aprendizaje sea más atractivo. Estas tecnologías atienden las diversas necesidades de los estudiantes, mejorando tanto su comprensión del material como su desempeño académico. Además, (Robles-Gómez et al., 2020) señalan que los laboratorios virtuales representan una herramienta clave en la educación digital, ya que permiten a los estudiantes interactuar con contenidos prácticos a través de simulaciones diseñadas cuidadosamente. Este tipo de soluciones requiere integrar componentes de software robustos, considerando no solo los contenidos, sino también la interacción del usuario, la calidad de la retroalimentación, la estabilidad del sistema y su accesibilidad. Tales elementos son esenciales al momento de diseñar una plataforma web como la propuesta en esta investigación, donde los recursos multimedia, los ejercicios guiados y los desafíos prácticos deben articularse de forma fluida y funcional.

Según las investigaciones de (Kumar et al., 2021; Pham et al., 2021), la transformación digital en la educación está siendo impulsada significativamente por la implementación de plataformas web y marcos de aprendizaje que superan las limitaciones de infraestructuras TIC inmaduras, permitiendo un entorno educativo más inteligente, flexible y personalizado. (Kumar et al., 2021) destacan la importancia de generar infraestructuras tecnológicas que no solo entreguen contenidos, sino que también sean capaces de adaptarse a las necesidades del estudiante, generar datos relevantes para análisis posterior y permitir ajustes iterativos según los resultados obtenidos en pruebas piloto. Esto se alinea con el enfoque de este proyecto, que incluye una fase exploratoria

para evaluar la percepción de los estudiantes, la usabilidad del sistema y la factibilidad técnica de su implementación, antes de aspirar a un escalamiento amplio. Mientras que (Pham et al., 2021) plantean que las iniciativas de educación inteligente requieren integrar infraestructura física, tecnologías digitales y plataformas en línea para proporcionar experiencias educativas avanzadas. En este sentido, la presente investigación busca aportar un caso concreto de integración: un sistema híbrido que combina una plataforma web interactiva con un robot tutor físico que monitorea la atención del estudiante, emite señales motivacionales y registra datos de comportamiento para análisis posterior. Este tipo de integración tecnológica exige superar barreras técnicas que van desde la compatibilidad entre sistemas hasta la estabilidad de los registros generados.

De manera similar, (Stoyanov et al., 2022) subrayan la importancia de integrar espacios educativos virtuales y laboratorios remotos, especialmente en campos como STEM, donde la colaboración interdisciplinaria y el acceso a recursos de alta calidad son esenciales para el éxito académico. (Souza & Debs, 2024) contextualizan estas innovaciones dentro del marco de la educación 4.0, destacando cómo la adopción de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y el IoT es crucial para preparar a los estudiantes para los desafíos futuros de la Industria 4.0. Finalmente, (Hilario et al., 2022) complementan esta visión al demostrar que la gamificación, implementada a través de plataformas web, puede aumentar la motivación y el compromiso de los estudiantes en materias complejas, haciendo el aprendizaje más interactivo y efectivo. En conjunto, estos estudios muestran que la transformación digital en la educación no solo es una respuesta a las necesidades actuales, sino también una estrategia integral para preparar a los estudiantes para el futuro, aprovechando plataformas web y tecnologías emergentes para crear un entorno de aprendizaje más dinámico, inclusivo y eficaz.

En cuanto a la implementación de robots en la educación, las investigaciones de (Krumins et al., 2024; Ponce et al., 2022) destacan el uso de plataformas robóticas para el aprendizaje en campos STEM y la educación física, subrayando cómo los robots, tanto físicos como simulados, pueden mejorar la experiencia educativa al proporcionar entornos de aprendizaje más dinámicos e interactivos. (Krumins et al., 2024) exploran la implementación de laboratorios remotos para la enseñanza de robótica y el Sistema Operativo de Robots (ROS), destacando los desafíos técnicos asociados a la sincronización de hardware y software, la transmisión de datos en tiempo real y la usabilidad de los sistemas por parte de los usuarios ofreciendo a los estudiantes la oportunidad de trabajar con robots en un entorno auténtico de desarrollo, por su parte, (Ponce et al., 2022) analizan cómo las plataformas robóticas han sido utilizadas con éxito en países desarrollados para apoyar la educación en STEM y la actividad física, demostrando su capacidad para involucrar a los estudiantes de manera más efectiva en su aprendizaje. Estos antecedentes son particularmente relevantes para este proyecto, que busca integrar un robot tutor físico a una plataforma digital, asegurando que ambos componentes interactúen coordinadamente. La implementación de este tipo de sistemas requiere resolver problemas relacionados con la conectividad, la latencia de respuesta y la precisión de los sensores, aspectos que son centrales para garantizar la efectividad de la experiencia.

Desde otro punto de vista, (Guggemos et al., 2020; Wu et al., 2022) aportan a esta discusión al examinar la aceptación y el impacto de los robots educativos en la educación superior, particularmente en el rendimiento académico de los estudiantes. (Guggemos et al., 2020) evalúan la aceptación del robot humanoide Pepper en un curso de escritura académica utilizando el modelo UTAUT, mostrando que la interacción con robots puede mejorar la motivación y el compromiso de los estudiantes, se destaca que los robots de enseñanza son más efectivos cuando no solo se

diseñan para cumplir una función específica, sino cuando se integran cuidadosamente al ecosistema tecnológico y pedagógico en el que se aplican. De manera similar, (Wu et al., 2022) analizan el uso de robots en entornos universitarios, encontrando que, si bien existe potencial para mejorar el rendimiento académico, uno de los principales desafíos está en garantizar que estos sistemas funcionen técnicamente de forma confiable y puedan ser operados fácilmente por los usuarios.

Por otro lado, (Błażejowska et al., 2023; Schiavo et al., 2024) se centran en el papel del feedback afectivo y el reconocimiento emocional en el aprendizaje asistido por robots. (Błażejowska et al., 2023) estudian cómo el feedback afectivo proporcionado por robots puede influir en la experiencia de aprendizaje, señalando que la integración de señales emocionales (como luces, sonidos o gestos) requiere no solo diseño pedagógico, sino también un trabajo técnico detallado que asegure la precisión de las respuestas, la sincronización entre módulos y la validez de los registros generados. Esta dimensión es esencial para el robot tutor propuesto en este proyecto, que utiliza señales luminosas, mensajes sonoros y música ambiental para acompañar emocionalmente al estudiante durante su aprendizaje autónomo. Mientras que (Schiavo et al., 2024) exploran el uso de robots educativos en la educación especial, particularmente en el reconocimiento de emociones en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA), demostrando que los robots pueden ser herramientas valiosas para personalizar y mejorar la experiencia educativa en contextos especializados.

Finalmente, (Kurtz & Kohen-Vacs, 2023) amplían el uso de robots en la educación al analizar cómo un robot social puede mediar en actividades de orientación universitaria, facilitando la integración de nuevos estudiantes al entorno académico. Este estudio resalta que los robots pueden desempeñar un papel crucial en ayudar a los estudiantes a adaptarse a nuevos entornos

educativos, lo que sugiere aplicaciones potenciales en diversas áreas de la educación superior. En conjunto, estos estudios muestran que los robots educativos tienen el potencial de transformar la educación en una variedad de disciplinas, desde STEM y ciencias de la computación hasta la educación especial y la orientación universitaria. Estos robots no solo facilitan la enseñanza de conceptos complejos, sino que también mejoran la motivación, el compromiso y el rendimiento de los estudiantes, ofreciendo una experiencia educativa más personalizada y efectiva. No obstante, la adopción de estas tecnologías requiere una evaluación continua para garantizar que su integración en el aula maximice sus beneficios y aborde los desafíos específicos de cada contexto educativo.

La revisión sistemática de (González-Oliveras et al., 2025) analiza la convergencia entre los campos de la Robótica Educativa Social y el Análisis del Aprendizaje, dos áreas importantes en el aprendizaje mediado por tecnología. La revisión identificó 29 estudios que integran robots sociales educativos y análisis de datos de aprendizaje, aunque pocos lo hacen explícitamente. Se destaca que muchos robots adaptan su comportamiento basándose en datos de interacción, aplicando metodologías propias del Análisis del Aprendizaje, aunque a menudo de forma no intencionada. Asimismo, los robots sociales permiten la recopilación multimodal de datos de manera menos intrusiva, potenciando la interacción pedagógica. Se identificaron beneficios tales como: los robots sociales pueden enriquecer los sistemas de aprendizaje analítico, y el análisis de aprendizaje puede mejorar la personalización e impacto de los robots educativos.

La detección de la atención de los estudiantes mediante visión computacional ha emergido como un área de investigación relevante en la educación moderna, buscando interpretar expresiones faciales, gestos y posturas para mejorar la interacción y el aprendizaje. (Wan et al., 2023) propusieron un modelo de reconocimiento de gestos dinámicos basado en una red de

atención por coordenadas y destilación de conocimiento, logrando una precisión del 65.87%, con aplicaciones en la identificación de comportamientos atencionales mediante el análisis de movimientos de las manos. (Ilic et al., 2021) desarrollaron un sistema de detección automática de emociones a partir de expresiones faciales capturadas durante evaluaciones online, detectando cambios emocionales que pueden alertar sobre pérdidas de atención, pese a su precisión limitada por frame. Por su parte, (Chan et al., 2023) utilizaron un modelo basado en Vision Transformer (RViT) con votación mayoritaria, alcanzando una precisión del 92% en la clasificación de niveles de concentración mediante el reconocimiento de gestos como bostezos o miradas desviadas. Además, estudios recientes como los de (Alruwais & Zakariah, 2024; Fernández-Batanero et al., 2024; Hu & Hong, 2022) han explorado el uso de visión por computadora, reconocimiento de gestos y tecnologías IoT para personalizar entornos educativos, monitorear emociones y adaptar la enseñanza en tiempo real. En conjunto, estas investigaciones evidencian que la combinación de visión computacional, aprendizaje profundo y análisis multimodal permite desarrollar sistemas capaces de evaluar de manera no invasiva la atención de los estudiantes, ofreciendo nuevas posibilidades para optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje en entornos presenciales y virtuales.

Estos antecedentes no solo respaldan la pertinencia del proyecto, sino que subrayan la necesidad de avanzar en el diseño, la construcción y la integración técnica de soluciones educativas híbridas, así como en la evaluación exploratoria de su funcionamiento y percepción en entornos universitarios reales. Este trabajo representa, por tanto, un aporte relevante para el campo de la innovación educativa y para las investigaciones orientadas a la aplicación de tecnologías emergentes en contextos académicos.

2.3. Bases Teóricas de la Investigación

2.3.1. Cálculo Diferencial

El Cálculo Diferencial es una rama fundamental de las matemáticas que estudia el cambio de las variables, permitiendo analizar la variación instantánea de magnitudes y modelar fenómenos dinámicos en distintas áreas del conocimiento. Su base se centra en el concepto de derivada, la cual representa la tasa de cambio de una función en un punto determinado, siendo esencial para comprender procesos como el movimiento, el crecimiento, la optimización y la estabilidad de sistemas físicos, biológicos y tecnológicos (Bigotte de Almeida et al., 2021).

En el ámbito de la educación en ingeniería, el cálculo diferencial constituye una de las asignaturas troncales del primer ciclo universitario, pues desarrolla las competencias analíticas necesarias para abordar problemas propios de la disciplina. El dominio de sus conceptos permite a los futuros ingenieros interpretar comportamientos de sistemas reales y tomar decisiones fundamentadas en modelos matemáticos (Álvarez et al., 2023). No obstante, diversos estudios coinciden en que esta asignatura suele ser un punto crítico en la formación, presentando altas tasas de desaprobación y deserción debido a su nivel de abstracción y a la brecha existente entre el razonamiento matemático formal y la comprensión conceptual de los estudiantes.

Según (Bigotte de Almeida et al., 2021), muchos estudiantes de ingeniería abordan el cálculo diferencial desde un enfoque meramente procedimental, priorizando la memorización de reglas y fórmulas sin lograr comprender su significado o aplicación práctica. Esta situación se ve acentuada por métodos de enseñanza tradicionales centrados en la exposición magistral, con escasa contextualización y poca oportunidad para la exploración autónoma. De manera similar, investigaciones recientes destacan que la falta de recursos visuales y de experimentación

interactiva limita la capacidad de los estudiantes para conectar los conceptos teóricos con situaciones reales. Asimismo, el uso de recursos didácticos digitales como simuladores, plataformas web interactivas, videos explicativos y ejercicios guiados contribuye significativamente a la visualización de funciones, el análisis de límites y derivadas, y la comprensión de sus implicaciones físicas y técnicas (Fernández Sutta et al., 2024).

En este contexto, la presente investigación propone la implementación de una plataforma web didáctica integrada a un robot tutor con visión computacional, como una alternativa innovadora que responde a los desafíos identificados en la enseñanza del cálculo diferencial. Dicha solución busca potenciar el aprendizaje activo, la personalización de la experiencia educativa y la motivación del estudiante mediante recursos audiovisuales, desafíos guiados y retroalimentación automática, alineándose con las prácticas pedagógicas contemporáneas orientadas a la educación digital e inclusiva.

2.3.2. Plataforma web

Las plataformas web educativas se han consolidado como uno de los pilares fundamentales en la transformación digital de la educación superior. Su carácter flexible, accesible y escalable permite crear entornos de aprendizaje dinámicos que trascienden las limitaciones del aula tradicional. Según (Alenezi, 2020), una plataforma web puede definirse como un conjunto de módulos y herramientas interactivas alojadas en la nube que facilitan la gestión, distribución y evaluación de contenidos educativos mediante interfaces accesibles desde cualquier dispositivo con conexión a internet.

En los últimos años, las plataformas web han evolucionado desde modelos meramente informativos hacia entornos interactivos e inteligentes, centrados en la experiencia del usuario y

la personalización del aprendizaje. Estas plataformas integran componentes multimedia (como videos explicativos, simulaciones, infografías, cuestionarios o actividades gamificadas) que permiten a los estudiantes construir su conocimiento de manera activa y autónoma (Pendidikan et al., n.d.). En este sentido, no solo cumplen una función informativa, sino también pedagógica y motivacional, al fomentar la curiosidad y la participación continua.

Una característica clave de las plataformas web educativas es la retroalimentación inmediata, elemento que ha demostrado tener un impacto significativo en la mejora del rendimiento académico y la motivación intrínseca. Según (Hooda, 2020), cuando los estudiantes reciben información inmediata sobre sus aciertos o errores, desarrollan una percepción más clara de su progreso y ajustan sus estrategias de aprendizaje de manera más efectiva. Esta característica se encuentra integrada en la plataforma propuesta, la cual brinda al estudiante una experiencia de práctica guiada con retroalimentación automática durante los ejercicios y desafíos.

Otro aspecto fundamental es la interactividad, entendida como la capacidad del sistema para responder a las acciones del usuario. Una plataforma interactiva favorece el aprendizaje significativo al promover la exploración y la experimentación (Del Carmen et al., n.d.). En el caso de esta investigación, la interactividad se amplía al integrar un robot tutor con visión computacional, que responde a las conductas atencionales del estudiante y genera estímulos motivacionales sincronizados con las actividades del entorno web.

Finalmente, la plataforma web no solo cumple una función instrumental, sino también integradora, al actuar como el núcleo desde el cual se coordinan los componentes del sistema: el contenido didáctico, el registro de progreso, los datos del estudiante y la interacción con el robot tutor. Esta integración constituye un paso hacia la construcción de entornos inteligentes de

aprendizaje, donde la tecnología no solo facilita la enseñanza, sino que adapta la experiencia educativa a las necesidades del usuario en tiempo real.

En síntesis, la plataforma web desarrollada en este proyecto representa un entorno interactivo, flexible y pedagógicamente orientado, diseñado para potenciar la enseñanza de Cálculo Diferencial a través de la autonomía, la retroalimentación inmediata y la integración con tecnologías emergentes como la visión computacional y la robótica educativa.

2.3.3. Recursos didácticos

Los recursos didácticos constituyen un componente esencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje, al facilitar la comprensión de los contenidos, promover la participación del estudiante y reforzar el vínculo entre la teoría y la práctica. Según (Chovriy et al., 2024), los recursos didácticos son todos aquellos medios, materiales o herramientas que, utilizados de manera planificada, favorecen el logro de los objetivos educativos al mediar entre el conocimiento y el estudiante. Estos pueden incluir desde materiales impresos tradicionales hasta entornos digitales interactivos, simuladores o plataformas virtuales.

En el contexto de la educación superior, los recursos didácticos adquieren una importancia estratégica, ya que permiten atender la diversidad de estilos de aprendizaje presentes en el aula. Su uso adecuado fomenta la autonomía del estudiante, mejora la motivación intrínseca y facilita la asimilación de conceptos abstractos mediante representaciones visuales, auditivas o kinestésicas (Yenchong Meza Werme Esaud et al., 2021). Por tanto, el diseño y selección de recursos debe responder no solo a los contenidos curriculares, sino también a las características cognitivas y emocionales de los aprendices.

Con el auge de las tecnologías digitales, los recursos didácticos han evolucionado hacia formatos interactivos y adaptativos. Plataformas de aprendizaje en línea, videos educativos, simuladores matemáticos, entornos de realidad aumentada y chatbots educativos son hoy parte del ecosistema de recursos empleados para enriquecer la experiencia formativa (Lima et al., 2020). Estos medios no solo diversifican las estrategias pedagógicas, sino que también amplían la posibilidad de aprendizaje autónomo y asincrónico, haciendo del estudiante un agente activo en la construcción de su propio conocimiento.

Particularmente en el área de las matemáticas y la ingeniería, los recursos didácticos digitales han demostrado ser altamente efectivos para abordar temas de alta abstracción, como el cálculo diferencial o la física aplicada. Al combinar animaciones, simulaciones y retroalimentación inmediata, permiten visualizar fenómenos que de otro modo serían difíciles de conceptualizar, fortaleciendo así el pensamiento lógico y analítico (M. Zhang & Somasundram, 2025). De igual modo, la incorporación de ejercicios interactivos y entornos de práctica guiada facilita la identificación de errores y promueve el aprendizaje significativo a través de la experimentación.

Otro aspecto clave es la retroalimentación automática, presente en muchos entornos digitales modernos. Esta característica proporciona al estudiante respuestas inmediatas sobre su desempeño, lo que contribuye a la autorregulación del aprendizaje y refuerza la motivación al ofrecer un sentido de progreso constante (Yenchong Meza Werme Esaud et al., 2021). Además, los recursos digitales con elementos de gamificación, como insignias, niveles o recompensas simbólicas, potencian la implicación emocional y la persistencia frente a la dificultad de las tareas.

En el marco del presente proyecto, los recursos didácticos cumplen un rol central dentro de la plataforma web didáctica integrada al robot tutor, ya que actúan como mediadores entre el contenido matemático y la experiencia del estudiante. La plataforma incorpora videos explicativos,

ejercicios guiados con retroalimentación inmediata y desafíos prácticos, diseñados para fomentar la comprensión activa del cálculo diferencial y mantener el interés mediante estímulos visuales y auditivos. A su vez, la integración con el robot tutor refuerza la dimensión atencional del aprendizaje, complementando los recursos cognitivos con un acompañamiento en tiempo real.

En síntesis, los recursos didácticos, especialmente aquellos apoyados en tecnologías digitales, son un pilar para la innovación educativa, al posibilitar experiencias de aprendizaje más dinámicas, inclusivas y personalizadas. Su adecuada selección y articulación, en conjunto con herramientas inteligentes como robots educativos o sistemas de retroalimentación automática, constituyen un camino prometedor hacia una enseñanza universitaria más eficaz y centrada en el estudiante.

2.3.4. Robot tutor

El robot tutor se concibe como una herramienta educativa de apoyo que actúa como un agente físico complementario dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje. A diferencia de los entornos digitales convencionales, el robot aporta una dimensión tangible e interactiva que fomenta la conexión emocional y la atención sostenida del estudiante (Ackermann et al., 2025). En el ámbito de la educación, estos sistemas se agrupan dentro del campo de la robótica educativa social, orientada a mejorar la motivación, la participación y la autorregulación a través de interacciones físicas y estímulos multisensoriales (Wang et al., 2024).

En su forma más general, un robot tutor es una máquina dotada de sensores, actuadores y sistemas de control que le permiten percibir su entorno y responder a los comportamientos del estudiante. A diferencia de un tutor humano, su rol no es sustituir al docente, sino acompañar el proceso de aprendizaje, reforzando aspectos como la atención, el compromiso y la concentración

mediante señales perceptibles que promueven la autorregulación cognitiva y emocional (Pai et al., 2024).

En el contexto del presente proyecto, el robot tutor se integra como un agente físico complementario al entorno digital de la plataforma web didáctica. Su diseño funcional se centra en dos tareas principales:

- Monitoreo visual de la atención del estudiante mediante técnicas de visión computacional. A través de una cámara conectada a una Raspberry Pi, el sistema identifica si el estudiante mantiene la mirada en la pantalla o si se distrae. Esta información se traduce en una respuesta inmediata mediante luces indicadoras LED: el color verde se enciende cuando se detecta atención sostenida, y el rojo cuando el estudiante desvía la mirada. De este modo, el robot ofrece una retroalimentación no verbal e inmediata, que favorece la autorregulación atencional sin necesidad de interrupciones verbales o mensajes invasivos.
- Acompañamiento emocional durante los desafíos prácticos, donde el robot reproduce música ambiental relajante a través de un altavoz. Esta función busca generar un entorno emocionalmente equilibrado, reduciendo el estrés cognitivo y facilitando la concentración durante tareas de mayor complejidad.

El diseño minimalista y funcional del robot se inspira en el paradigma de la robótica afectiva, que sugiere que incluso respuestas simples; como luces, sonidos o movimientos básicos, pueden generar un impacto positivo en la percepción emocional y el compromiso de los estudiantes (Ackermann et al., 2025). En este sentido, la retroalimentación visual del robot actúa como un refuerzo extrínseco que complementa los mecanismos internos de atención, ayudando al estudiante a tomar conciencia de su propio estado sin requerir intervención directa del docente.

Diversos estudios han demostrado que la presencia física de un robot educativo, aun cuando sus interacciones sean limitadas, puede incrementar la percepción de compañía, la atención sostenida y la disposición al aprendizaje (Wang et al., 2024). En entornos STEM, donde las actividades suelen demandar alta concentración, los robots tutores han mostrado un potencial particular para mejorar la implicación emocional y reducir la carga cognitiva, especialmente cuando se integran en estrategias pedagógicas centradas en el estudiante.

Por tanto, el robot tutor implementado en este proyecto no pretende reemplazar la instrucción tradicional ni la mediación docente, sino ampliar el ecosistema de aprendizaje con un componente sensorial y motivacional, reforzando la experiencia de la plataforma web mediante una interacción física sencilla, pero efectiva. Su función es actuar como un regulador atencional y emocional, integrando la dimensión tecnológica con la humana para favorecer un entorno de estudio más inmersivo, dinámico y empático.

2.3.5. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es una rama de la informática orientada al desarrollo de sistemas capaces de realizar tareas que, tradicionalmente, requieren de la inteligencia humana, tales como el razonamiento, la percepción visual, el reconocimiento del habla, la toma de decisiones o el aprendizaje autónomo. En términos generales, la IA busca simular procesos cognitivos mediante algoritmos que permitan a las máquinas percibir su entorno, interpretar datos y responder de manera adaptativa ante situaciones nuevas. Desde una perspectiva tecnológica, la IA se sustenta en subcampos como el aprendizaje automático (Machine Learning), el aprendizaje profundo (Deep Learning), el procesamiento del lenguaje natural (PLN) y la visión por computadora, cada uno orientado a replicar distintas capacidades humanas (Russell & Norvig,

2022). Estas técnicas han permitido el desarrollo de aplicaciones inteligentes en sectores como la medicina, la industria, la seguridad, el transporte y, en especial, la educación.

En el ámbito educativo, la IA ha adquirido un papel central en la transformación de los entornos de aprendizaje, favoreciendo la personalización de los contenidos, la retroalimentación automática y el monitoreo del progreso del estudiante (Harry, 2023). Los sistemas tutores inteligentes (STI), por ejemplo, utilizan modelos de IA para adaptar la instrucción según las respuestas del usuario, analizando patrones de comportamiento o niveles de desempeño con el fin de ofrecer apoyo diferenciado. Estas herramientas han mostrado mejoras significativas en la comprensión conceptual y en la motivación del estudiante cuando se implementan de forma complementaria al docente.

La aplicación de IA no se limita a los entornos virtuales, sino que se extiende a interfaces físicas y robóticas, dando origen a los llamados robots educativos inteligentes. Estos dispositivos integran sensores, actuadores y módulos de aprendizaje automático que les permiten interpretar señales del entorno, como expresiones faciales o posturas, y responder con comportamientos adaptativos (Wang et al., 2024). En este contexto, la IA actúa como el núcleo cognitivo que posibilita que un robot no solo ejecute acciones predefinidas, sino que también “comprenda” y reaccione ante las condiciones del usuario o del entorno en tiempo real.

En el presente proyecto, la inteligencia artificial constituye el eje técnico que habilita la función de reconocimiento de atención del robot tutor. A través de un algoritmo de visión computacional, el sistema analiza las imágenes capturadas por una cámara para determinar si el estudiante mantiene la mirada en la pantalla o si se ha distraído. Este tipo de aplicación se enmarca en la IA perceptual, en la cual los algoritmos procesan información sensorial para generar respuestas inteligentes que complementan la experiencia educativa.

De esta manera, la IA no solo se concibe como una herramienta tecnológica, sino como un agente pedagógico que potencia el aprendizaje activo, la autorregulación y la retroalimentación personalizada. Su integración en sistemas educativos híbridos, como la plataforma web y el robot tutor del presente estudio, representa un avance hacia entornos más interactivos, adaptativos y centrados en el estudiante, donde la tecnología actúa como mediadora entre la atención, la emoción y el conocimiento.

2.3.6. Visión computacional

La visión computacional es una rama de la inteligencia artificial que permite a las máquinas interpretar, analizar y comprender el contenido visual del entorno a través de imágenes o secuencias de video (Szeliski, 2022). Su objetivo principal es emular el proceso de percepción humana, permitiendo que los sistemas reconozcan objetos, rostros, movimientos y patrones visuales mediante algoritmos que transforman los datos capturados por cámaras en información significativa (Russell & Norvig, 2022).

En términos técnicos, la visión computacional combina métodos de procesamiento digital de imágenes, aprendizaje automático y redes neuronales convolucionales (CNN) para extraer características relevantes del entorno visual y clasificarlas según determinados criterios (Haddad et al., 2024). Este campo ha experimentado un crecimiento exponencial gracias a los avances en Deep Learning, que han permitido una precisión sin precedentes en tareas como la detección facial, el reconocimiento de gestos y la estimación del movimiento ocular.

En el contexto educativo, la visión computacional ha comenzado a aplicarse como herramienta para analizar el comportamiento y las emociones de los estudiantes durante su proceso de aprendizaje (Chen et al., 2023). Estas tecnologías permiten monitorear aspectos como la

atención visual, el nivel de compromiso, la postura corporal o incluso el estado emocional, proporcionando información valiosa para adaptar las estrategias pedagógicas y ofrecer retroalimentación más personalizada. Por ejemplo, los sistemas basados en seguimiento ocular (eye-tracking) pueden identificar cuándo un estudiante desvía la mirada de la pantalla, lo que se interpreta como una señal de distracción, mientras que las redes neuronales pueden clasificar expresiones faciales para inferir emociones como frustración o interés. (X. Zhang et al., 2024).

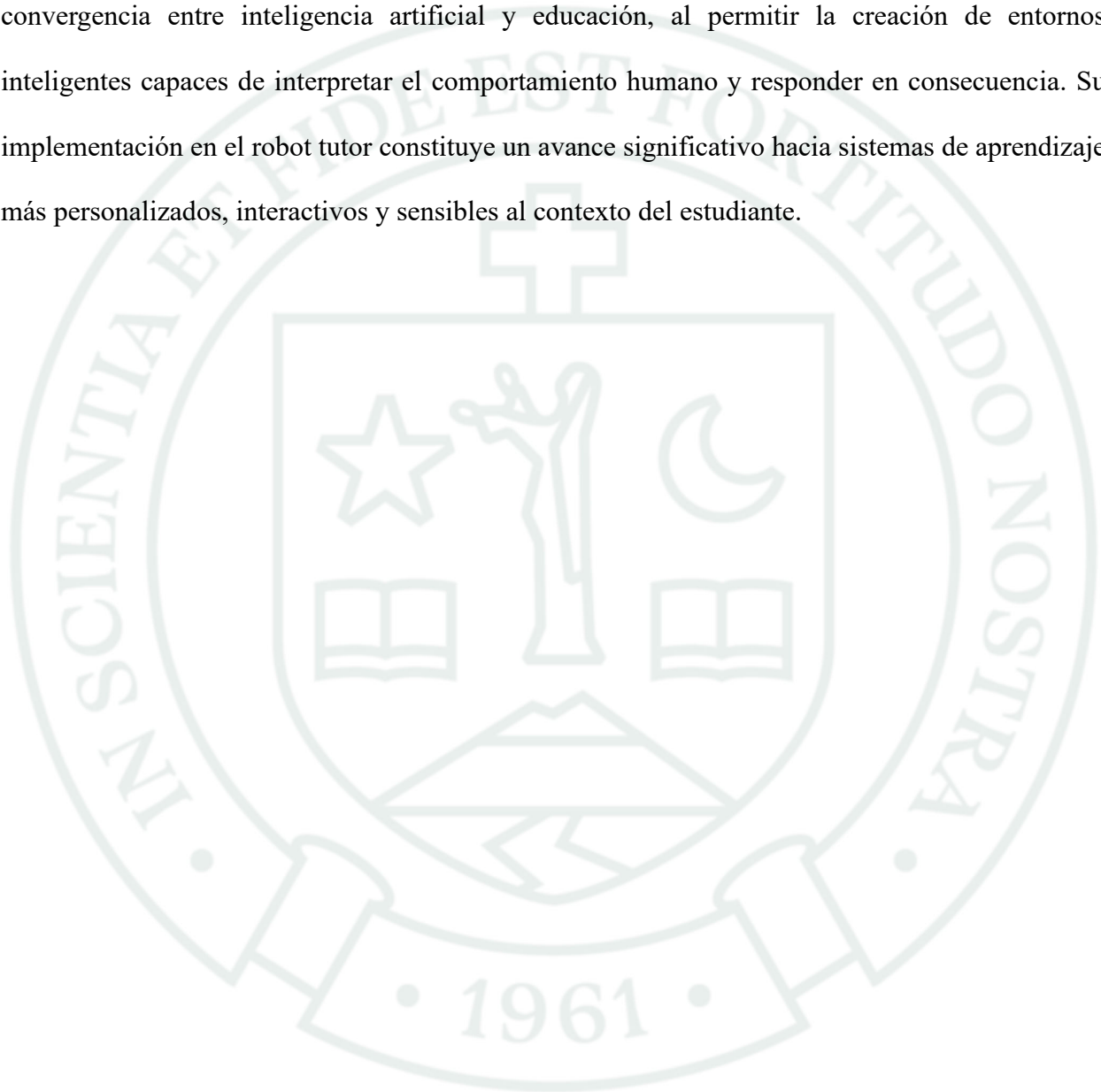
En este sentido, la visión computacional se ha convertido en un componente esencial de los robots educativos inteligentes, permitiéndoles percibir y responder al entorno del estudiante. Estos sistemas no solo amplían las capacidades de interacción del robot, sino que también lo dotan de una forma básica de percepción cognitiva, reforzando la sensación de acompañamiento y apoyo durante las actividades de aprendizaje.

En el presente proyecto, la visión computacional cumple un rol central dentro del robot tutor, al encargarse de detectar el nivel de atención del estudiante frente a la pantalla. El algoritmo implementado procesa en tiempo real las imágenes capturadas por una cámara y determina si el estudiante mantiene la mirada enfocada o si se distrae. Según el resultado, el robot activa una señal visual mediante luces LED: verde cuando el estudiante está atento y rojo cuando se detecta distracción. Esta retroalimentación inmediata promueve la autorregulación del comportamiento y el fortalecimiento de la concentración durante las sesiones de estudio.

Además, la integración del módulo de visión computacional con la plataforma web posibilita un flujo bidireccional de información, registrando los momentos de atención y distracción en una base de datos. Estos registros permiten analizar patrones de comportamiento y evaluar cómo el estado atencional se relaciona con el rendimiento en los ejercicios y desafíos. De esta forma, la visión computacional no solo amplía las capacidades técnicas del robot, sino que

también aporta una dimensión analítica al sistema educativo, contribuyendo a la comprensión del aprendizaje desde un enfoque más cognitivo y basado en datos.

En conclusión, la visión computacional representa una herramienta clave en la convergencia entre inteligencia artificial y educación, al permitir la creación de entornos inteligentes capaces de interpretar el comportamiento humano y responder en consecuencia. Su implementación en el robot tutor constituye un avance significativo hacia sistemas de aprendizaje más personalizados, interactivos y sensibles al contexto del estudiante.





CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcances y Limitaciones

El proyecto tuvo como alcance principal el diseño, desarrollo e integración de un sistema híbrido compuesto por una plataforma web interactiva y un prototipo funcional de robot tutor, orientado a apoyar el aprendizaje autónomo, el refuerzo de contenidos y la motivación en la asignatura de cálculo diferencial. Es importante precisar que, por decisión metodológica y por limitaciones de tiempo y recursos, la plataforma incluyó exclusivamente contenidos correspondientes a la tercera fase del curso de Cálculo Diferencial en donde se trataron temas relacionados a las aplicaciones de la derivada, por lo que los resultados obtenidos se restringieron a este conjunto temático específico. La viabilidad económica se sustentó en un presupuesto asignado por parte del Vicerrectorado de Investigación de una universidad privada de Arequipa donde se aplicó la investigación, el cual cubrió la adquisición de los materiales necesarios para la construcción del robot, el desarrollo del software y otros gastos operativos requeridos.

El enfoque de esta investigación fue medir de forma inicial, el impacto pedagógico del sistema sobre el rendimiento académico general y la motivación. Dentro de este alcance, se realizó un estudio con un grupo reducido de estudiantes, con el fin de identificar como la plataforma web pudo afectar su nivel de aprendizaje y motivación durante la 3era fase del curso.

Entre las limitaciones del proyecto, se reconoció que la muestra para el estudio fue pequeña y no representativa de toda la población de estudiantes de Cálculo Diferencial, por lo que los resultados obtenidos no pueden generalizarse ni asumirse como conclusiones definitivas sobre la efectividad pedagógica del sistema. En cuanto a la evaluación del robot tutor, debido a limitaciones presupuestales que impidieron contar con múltiples unidades funcionales, los estudiantes no

interactuaron directamente con el dispositivo. En su lugar, se revisó su efectividad a través de una evaluación técnica realizada por un experto en el área de robótica, quien determinará si el dispositivo cumple los requisitos de funcionamiento y su calidad. Cabe señalar que las funciones de visión computacional estuvieron limitadas al reconocimiento básico de la atención visual, sin incorporar análisis avanzados de emociones u otros indicadores conductuales. Finalmente, los resultados del piloto se enfocaron en análisis descriptivos y exploratorios, sin aplicar pruebas inferenciales ni correlaciones estadísticas amplias.

3.2. Tipo y Nivel de Investigación

El estudio correspondió a una investigación de tipo aplicada, ya que se centró en el diseño, desarrollo e integración de una solución tecnológica concreta para el ámbito educativo, específicamente dirigida al aprendizaje y motivación respecto a la asignatura de Cálculo Diferencial. La investigación aplicada busca generar productos o soluciones innovadoras que respondan a necesidades específicas de un contexto real, en este caso, mediante la creación de un sistema híbrido que combinó una plataforma web interactiva y un robot tutor funcional para apoyar el proceso de estudio de los estudiantes universitarios.

En cuanto al nivel, la investigación es de alcance explicativa, ya que busca analizarla influencia del uso del sistema integrado sobre las variables dependientes: nivel de aprendizaje, motivación y aceptación. Se aplica un diseño cuasi experimental con un solo grupo de estudiantes, en el que se comparan los resultados obtenidos en el pretest y postest, así como las puntuaciones en los cuestionarios SUS, MSLQ y TAM. Este diseño permite analizar los efectos del sistema sobre los indicadores propuestos y evaluar su impacto inicial en el proceso de aprendizaje.

3.3. Universo, Población y Muestra

3.3.1. Universo

El universo de esta investigación estuvo conformado por todos los estudiantes matriculados en una universidad privada de Arequipa, que llevaban el curso de Cálculo Diferencial, independientemente de la escuela profesional a la que pertenecieran. Este universo representó el conjunto amplio de posibles beneficiarios a quienes, en el futuro, podría extenderse la aplicación de soluciones tecnológicas similares a la propuesta desarrollada en este proyecto.

3.3.2. Población

La población estuvo constituida por los estudiantes que cursaron Cálculo Diferencial en la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de una universidad privada de Arequipa durante el semestre académico en el cual se ejecutó el estudio, siendo un total de 225. Esta población representó el grupo de interés inmediato para la implementación inicial del sistema, dado que permitió aplicar y evaluar los componentes desarrollados en un contexto real, bajo condiciones controladas y con acceso directo del investigador principal, quien fue responsable de la asignatura. Es importante señalar que la plataforma web contuvo exclusivamente contenidos correspondientes a la tercera fase del curso dadas las limitaciones de tiempo, por lo que los resultados y conclusiones se limitaron a ese bloque temático.

3.3.3. Muestra

La muestra del estudio se seleccionó intencionalmente dentro de la población mencionada, considerando a los estudiantes de la sección a cargo del investigador principal, con un total de 48 estudiantes. Esta muestra fue utilizada para recopilar datos sobre la aceptación de los usuarios y la usabilidad del sistema. Dado el carácter del estudio, la muestra no fue estadísticamente

representativa del universo ni de la población, sino que se empleó para obtener aprendizajes iniciales y orientar futuros desarrollos e investigaciones a mayor escala.

3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1. Metodología de Desarrollo

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar el impacto del sistema integrado en variables medibles como el nivel de aprendizaje y la motivación de los estudiantes. Este enfoque permitió obtener resultados objetivos a partir de instrumentos estandarizados, como los cuestionarios SUS, MSLQ y TAM, así como de las pruebas pretest y postest, cuyos puntajes fueron comparados para identificar variaciones tras el uso del sistema.

Además, se recogieron métricas generadas automáticamente por el propio sistema, tales como los tiempos de atención y registros funcionales del robot tutor, lo que aportó información empírica sobre el desempeño técnico de la solución implementada.

El enfoque cuantitativo se justificó porque el propósito del estudio fue determinar la influencia del sistema integrado sobre el aprendizaje y la motivación, estableciendo relaciones entre variables y cuantificando los efectos observados. De este modo, se buscó evidenciar si la implementación del sistema puede generar mejoras significativas en los resultados académicos y actitudinales de los estudiantes.

En cuanto a la metodología de desarrollo, se empleó la Metodología de Diseño y Desarrollo Tecnológico (DDT), adecuada para proyectos de ingeniería orientados a la creación de soluciones funcionales que integran software y hardware (Chavez et al., n.d.) Esta metodología guio el

desarrollo del sistema propuesto: una plataforma web didáctica integrada a un prototipo de robot tutor interactivo con visión computacional, para apoyar el aprendizaje de Cálculo Diferencial.

El proceso metodológico se estructuró en seis fases: (1) Análisis del problema y requerimientos, donde se identificaron las necesidades educativas y se definieron los componentes del sistema; (2) Diseño del sistema, que abarcó la estructura de la plataforma y las funciones interactivas del robot; (3) Selección e integración tecnológica, con la elección de herramientas web, librerías de visión computacional y componentes físicos; (4) Desarrollo funcional, implementando los módulos de la plataforma y del robot tutor; (5) Pruebas e integración, para verificar la sincronización entre ambos componentes en tiempo real; y (6) Validación educativa, mediante un estudio piloto que evaluó usabilidad, aceptación, motivación y nivel de aprendizaje.

El uso de la metodología DDT permitió desarrollar una solución tecnológica coherente e integrada, centrada en la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje a través de recursos interactivos y adaptados al entorno universitario. Además, se combinó con la metodología SCRUM para el desarrollo ágil del robot, lo que permitió dividir las fases del desarrollo en Sprints.

3.4.2. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos en esta investigación se utilizaron técnicas cuantitativas, con el objetivo de evaluar el funcionamiento técnico del sistema, así como su impacto en los estudiantes a nivel de aprendizaje y motivación.

- **Observación estructurada:** Se empleó para verificar el cumplimiento funcional de los componentes del sistema (plataforma web y robot tutor) durante su ejecución en pruebas y en el estudio.

- **Evaluación académica:** Se aplicaron pruebas escritas antes y después del uso del sistema, para medir el nivel de aprendizaje en temas seleccionados de Cálculo Diferencial.
- **Cuestionarios y encuestas:** Se utilizó para obtener información sobre la percepción de los estudiantes, valoraciones sobre la facilidad de uso, aceptación del sistema y motivación hacia la asignatura.
- **Captura automática de datos por visión computacional:** El robot tutor utilizó su cámara para captar imágenes faciales de los estudiantes y detectar su atención visual en tiempo real mediante el procesamiento de puntos faciales. Esta técnica permitió recolectar datos objetivos sobre los tiempos de atención durante las actividades.

3.4.3. Instrumentos de recolección de datos

- **Captura automática de datos por visión computacional:** El robot tutor utilizó su cámara para captar imágenes faciales de los estudiantes y detectar su atención visual en tiempo real mediante el procesamiento de puntos faciales. Esta técnica permitió recolectar datos objetivos sobre los tiempos de atención durante las actividades.
- **Lista de verificación técnica:** Permitted validar el cumplimiento de los requisitos funcionales del sistema, tales como retroalimentación automática, registro de atención y sincronización entre la plataforma y el robot.
- **Evaluación técnica:** Permitted evaluar a nivel técnico el funcionamiento del robot y validar su aplicación por un experto en robótica.

- **Encuesta de usabilidad (SUS):** Escala estandarizada adaptada al contexto educativo, utilizada para evaluar la facilidad de uso del sistema y la satisfacción del usuario.
- **Cuestionario TAM:** Modelo de Aceptación de la Tecnología, empleado para evaluar la percepción del sistema integrado.
- **Exámenes pretest y postest:** Pruebas de conocimientos diseñadas para medir el aprendizaje antes y después del uso del sistema.
- **Cuestionario MSLQ:** Adaptación del "Motivated Strategies for Learning Questionnaire", enfocado en medir la motivación hacia el aprendizaje de los estudiantes luego de interactuar con el sistema.
- **Sistema de visión computacional integrado en el robot tutor:** Cámara y algoritmo de procesamiento de imágenes para detectar la atención visual mediante puntos faciales. Este instrumento automatizó el registro del comportamiento de atención del estudiante.

3.4.4. Técnicas de procesamiento de datos

El procesamiento de los datos recolectados en esta investigación se orientó al análisis cuantitativo descriptivo e inferencial, con el propósito de determinar el impacto del sistema integrado en el nivel de aprendizaje y la motivación de los estudiantes, así como evaluar su facilidad de uso y aceptación.

- **Análisis descriptivo univariado:** Se utilizó para resumir la información obtenida de cada variable mediante medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y de dispersión (desviación estándar, valores mínimos y máximos). Este análisis permitió

caracterizar el comportamiento general de los datos provenientes de los cuestionarios SUS, TAM, MSLQ, y las pruebas de conocimiento.

- **Análisis inferencial:** Se aplicó para medir la variación en los resultados de aprendizaje antes y después de la implementación del sistema. Para ello, se realizaron comparaciones de medias y una prueba estadística de diferencia de medias conocida como T de Student, con el fin de determinar si los cambios observados fueron estadísticamente significativos.
- **Tabulación de respuestas:** Se organizó la información proveniente de encuestas y cuestionarios en tablas para facilitar su interpretación.
- **Visualización de datos:** Se utilizaron gráficos de barras y tablas resumen para presentar los resultados de forma clara y accesible.
- **Procesamiento de datos de visión computacional:** Análisis de secuencias de imágenes capturadas por la cámara del robot para identificar patrones de atención visual, calculando tiempos efectivos de atención y distracción.

3.4.5. Herramientas para el procesamiento de datos

- **Open CV:** Librería de Python utilizada para el procesamiento de imágenes y visión computacional.
- **Microsoft Excel:** Utilizado para el registro, limpieza y organización de los datos, así como para el cálculo de dispersión, promedio y creación de gráficos.



CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción general de la propuesta

La solución técnica propuesta consistió en el desarrollo de dos componentes principales: una plataforma web interactiva y un prototipo funcional de robot tutor, orientado a mejorar el aprendizaje autónomo y reforzar conceptos en cálculo diferencial. El objetivo principal de este sistema no fue reemplazar la instrucción tradicional en el aula ni reorganizar el horario académico, sino complementar el proceso de aprendizaje a través de recursos digitales y físicos que permitieron a los estudiantes practicar, consolidar conocimientos y recibir estímulos motivacionales durante su estudio independiente.

La plataforma web sirvió como el entorno central de aprendizaje, presentando una variedad de recursos educativos diseñados para facilitar la comprensión de conceptos teóricos complejos. Los componentes clave de la plataforma incluyen:

- **Videos Explicativos:** Estos videos cubren temas esenciales dentro del currículo de cálculo diferencial, proporcionando explicaciones claras y atractivas para ayudar en la comprensión.
- **Ejercicios Guiados:** La plataforma ofrece ejercicios paso a paso acompañados de preguntas de opción múltiple. Cada respuesta recibe retroalimentación inmediata, lo que permite a los estudiantes aprender de sus errores. En casos de respuestas incorrectas, la plataforma proporciona fragmentos de video específicos que explican los procedimientos correctos, fomentando el aprendizaje autónomo.
- **Desafíos Prácticos:** Al final de cada bloque de contenido, se presentan a los estudiantes desafíos prácticos que deben resolver manualmente. Al finalizar,

pueden enviar sus respuestas en la plataforma, que luego proporciona una solución detallada en video para reforzar el aprendizaje.

El robot tutor actuó como un agente físico complementario dentro del entorno de aprendizaje digital, cumpliendo dos funciones principales:

- **Monitoreo de Atención:** Mientras los estudiantes participan en ejercicios guiados, el robot utiliza capacidades de detección visual para monitorear sus niveles de atención. Si un estudiante se distrae, el robot señala esto iluminando una luz roja, mientras que una luz verde indica atención sostenida. Esta retroalimentación inmediata anima a los estudiantes a autorregular su enfoque.
- **Apoyo Motivacional:** El robot reproduce música ambiental relajante para crear un ambiente emocional propicio para la resolución de problemas.

Este proyecto enfatiza el diseño técnico del sistema, su integración funcional y la ejecución de un estudio piloto exploratorio para evaluar la aceptación de los estudiantes y la usabilidad del sistema. Si bien la fase actual no busca demostrar mejoras pedagógicas a gran escala, los hallazgos proporcionaron una base fundamental para futuras investigaciones y posibles aplicaciones ampliadas en contextos educativos reales.

4.2. Análisis del problema y requerimientos

El análisis del problema y los requerimientos para el desarrollo de la propuesta se fundamenta en entrevistas no documentadas realizadas con el docente de Cálculo Diferencial. Estas conversaciones fueron cruciales para identificar las necesidades específicas del curso y las dificultades que enfrentan los estudiantes en su proceso de aprendizaje, destacando la alta deserción y el bajo rendimiento académico en las primeras fases del semestre.

Con el fin de contar con un sustento adicional, se evaluaron las calificaciones obtenidas por los estudiantes durante la primera fase del curso. Al inicio del semestre, el número total de matriculados fue de 74, sin embargo, solo 48 llegaron a culminar el curso. En esta primera fase, se evidenció que una gran proporción de estudiantes no rindió el examen final o alcanzó calificaciones muy bajas (NSP), lo que repercutió en el promedio general de la cohorte. La siguiente tabla resume los resultados obtenidos:

Tabla 2 *Detalles de notas Fase 1*

Indicador	Valor
Cantidad total de estudiantes	74
Estudiantes con nota válida	38
NSP (no se presentaron)	36
Promedio general de notas	12.84

Estos datos refuerzan la problemática inicial: casi la mitad de los estudiantes no logró completar satisfactoriamente la primera fase, lo cual refleja tanto las dificultades asociadas al aprendizaje de la asignatura como la falta de motivación o estrategias efectivas de estudio. Este escenario constituyó una justificación clave para el diseño e implementación de una plataforma web y un prototipo de robot tutor que apoyen el proceso de enseñanza-aprendizaje del curso de Cálculo Diferencial.

4.3. Diseño del sistema

El diseño del sistema es un componente fundamental previo al desarrollo, donde se establece la estructura de la plataforma y las funciones interactivas del robot, además del diseño de recursos didácticos y de la integración del sistema.

4.3.1. Diseño de los recursos didácticos

El contenido de la plataforma educativa fue proporcionado por el docente responsable de la asignatura de cálculo diferencial, quien entregó el sílabo del curso como referencia para estructurar las unidades de aprendizaje. Para el desarrollo del material, se seleccionaron los temas correspondientes a la última fase del curso, los cuales incluyen cuatro clases clave:

1. Tema 9: Valores máximos y mínimos.
2. Tema 10: Prueba de la primera derivada.
3. Tema 11: Prueba de concavidad y trazo de curvas.
4. Tema 12: Problemas de optimización.

Cada Tema contiene una explicación teórica a través de vídeos, y se complementa con ejercicios prácticos en los que el docente sigue un modelo similar al que se mostrará en la sección de ejercicios interactivos de la plataforma. Además, se incluyen vídeos que abordan problemas más complejos, que forman parte del apartado de desafíos para que los estudiantes puedan enfrentarse a situaciones de mayor dificultad y ver la explicación detallada en caso de equivocarse.

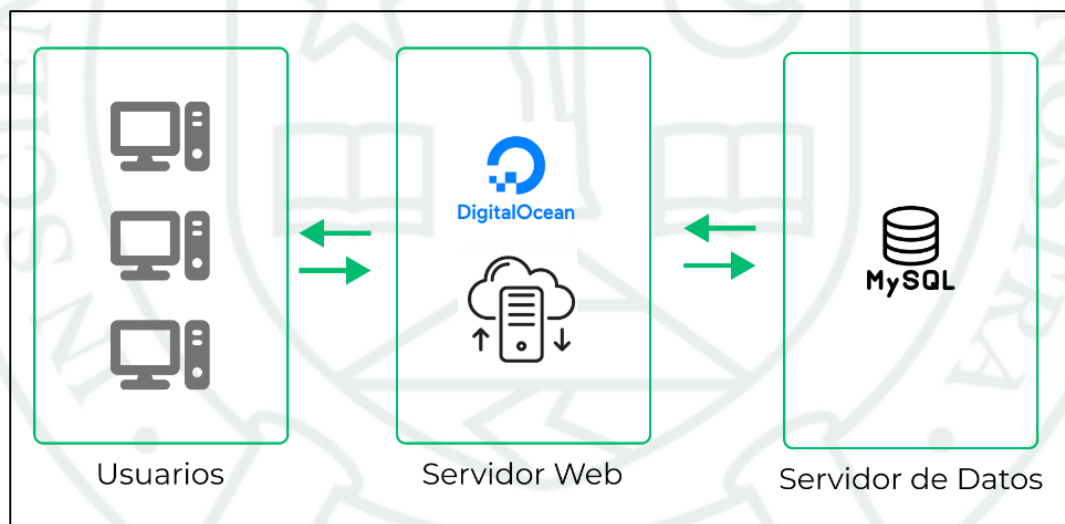
De esta manera, el contenido sigue el enfoque práctico y aplicado del cálculo diferencial, alineándose con el plan académico establecido por el docente y ofreciendo recursos audiovisuales para facilitar el aprendizaje.

4.3.2. Implementación

Para desarrollar la plataforma se analizaron los requisitos funcionales y no funcionales presentes en el Anexo A. De este análisis se plantea el diseño físico de la arquitectura de software. La Figura 1 presenta la arquitectura general de la plataforma, la cual describe la interacción entre los estudiantes, la plataforma web desplegada en un servidor remoto y el robot tutor. La plataforma

fue alojada en un servidor DigitalOcean, permitiendo que los estudiantes accedan desde cualquier dispositivo mediante un navegador web. Todas las solicitudes realizadas por los usuarios, como la reproducción de videos, la resolución de ejercicios guiados y el envío de desafíos, son procesadas por el servidor central. Desde este mismo servidor se gestionan además las peticiones enviadas al robot tutor, garantizando la sincronización en tiempo real entre la actividad del estudiante en la plataforma y las respuestas generadas por el robot, como la detección de atención, la activación de luces o la reproducción de mensajes motivacionales. Esta arquitectura permite una comunicación bidireccional eficiente y asegura que ambos componentes del sistema funcionen de manera integrada como un único sistema educativo.

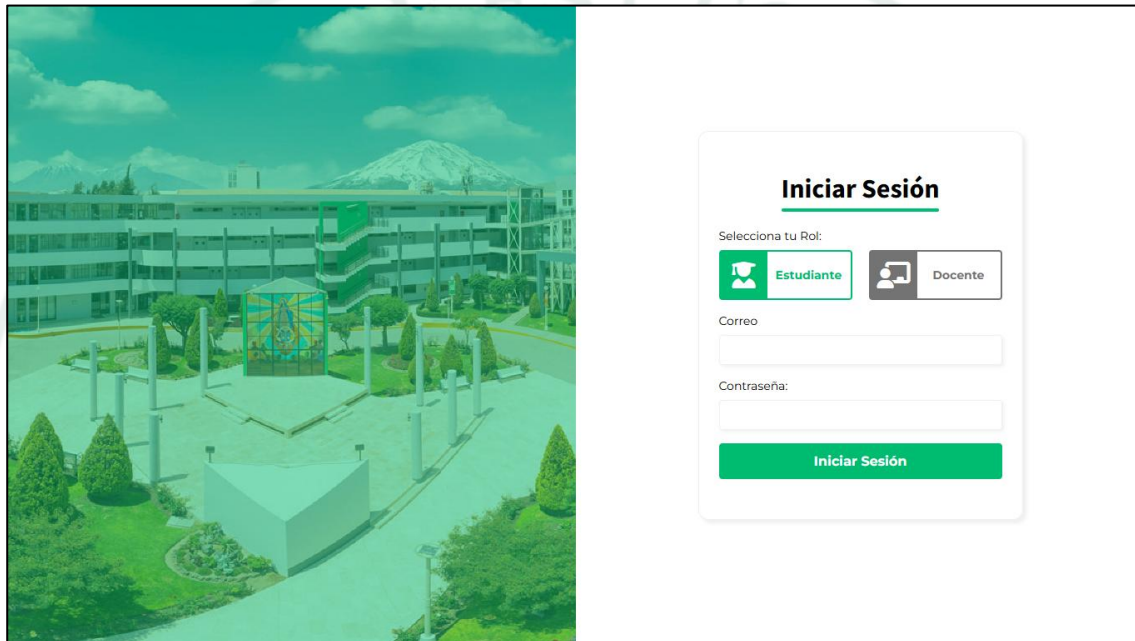
Figura 1 *Arquitectura física de la plataforma web*



Igualmente se tiene el diseño de las interfaces de usuario que tiene por objetivo maximizar la usabilidad y minimizar las distracciones, ofreciendo una experiencia intuitiva y atractiva tanto para estudiantes como para docentes.

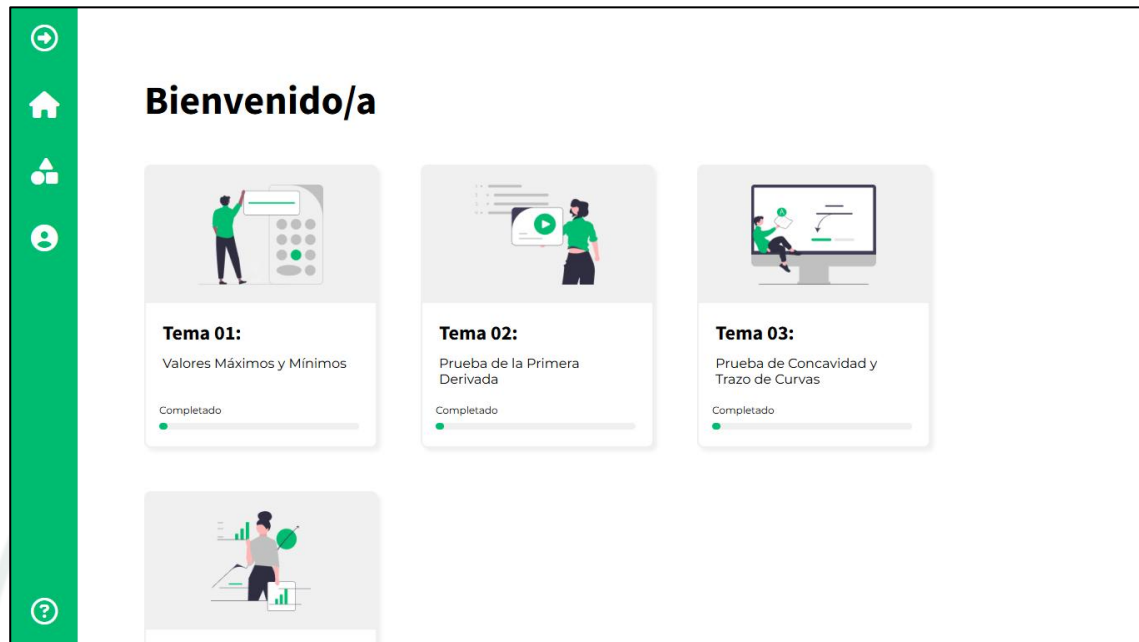
La página de inicio de sesión vista en Figura 2 permite al usuario ingresar a su cuenta seleccionando su rol correspondiente, este permite ingresar los campos como correo electrónico y contraseña que serán validados para su ingreso adecuado.

Figura 2 *Página de inicio de sesión*



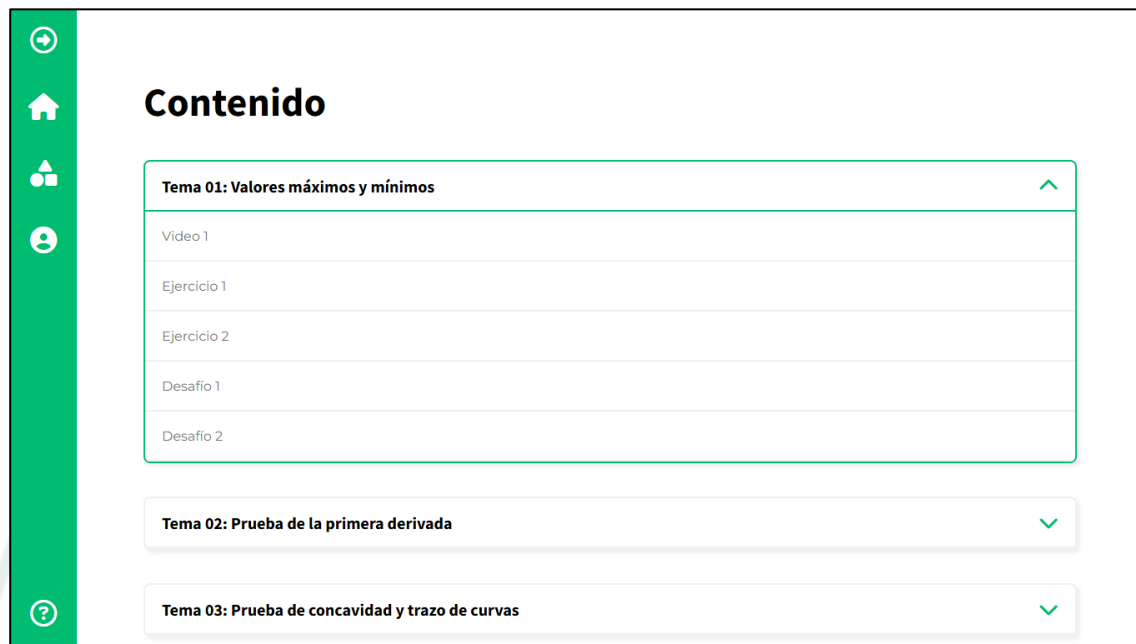
La página de inicio en Figura 3 presenta una vista general de los temas del curso. Además, se incluye un menú que permite una navegación adecuada al contenido y funcionalidades del usuario. docentes.

Figura 3 *Página de inicio*



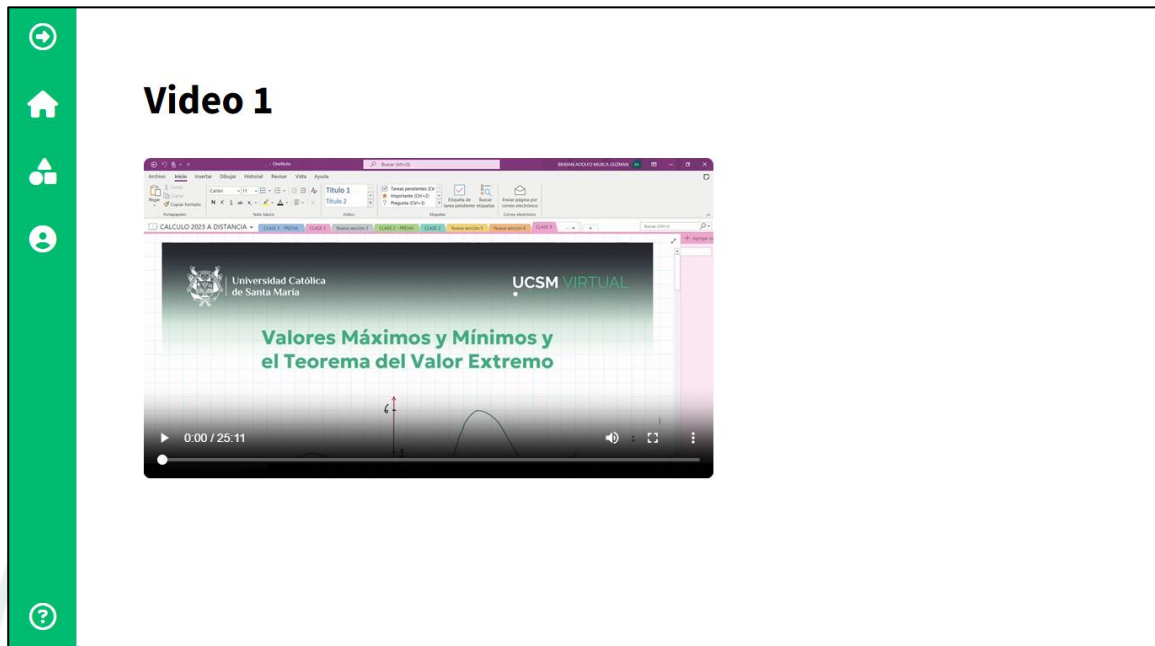
La página de contenido presentada en Figura 4 muestra en detalle el contenido de cada tema, permitiendo su acceso a los vídeos, ejercicios y desafíos, además de mostrar al estudiante su progreso en función de porcentaje de avance y puntaje acumulado.

Figura 4 Página de contenido



Al ingresar a la página de video del tema seleccionado como se muestra en Figura 5, los usuarios tienen acceso a un vídeo educativo grabado por el docente, el cual ofrece una explicación detallada del contenido. Este enfoque permite a los estudiantes aprender a su propio ritmo y repasar conceptos clave en cualquier momento. Además, la página presenta una tabla de contenido que facilita la navegación entre diferentes secciones del tema, permitiendo un acceso rápido a los puntos relevantes.

Figura 5 Página de video



La página de ejercicio vista en Figura 6 está diseñada para guiar a los estudiantes en la resolución de problemas de manera interactiva. Presenta el ejercicio a resolver, desglosado en pasos que permiten abordar cada parte del problema de forma clara. Los estudiantes tienen que seleccionar entre diferentes alternativas en cada paso. En caso de que seleccionen una opción incorrecta, se les proporciona retroalimentación inmediata, que incluye una porción de video explicativa relacionada con el error cometido., esto se muestra en Figura 7 Este enfoque no solo refuerza el aprendizaje al corregir errores, sino que también ofrece una experiencia de aprendizaje más dinámica y personalizada, ayudando a los estudiantes a entender mejor los conceptos clave del tema.

Figura 6 *Página de ejercicio*

Ejercicio 1

Encuentre dónde f tiene máximo y mínimo absolutos. Halle los valores máximo y mínimo absolutos de f .

$$f(x) = (x^2 - 1)^3, \quad x \in [-1, 2].$$

Paso 1: ¿Qué es lo primero que habría que hacer?

- Igualar a cero la función
- Hallar $f(-1)$ y $f(2)$
- Hallar los puntos críticos

Enviar

Siguiente Salir

Figura 7 *Retroalimentación del ejercicio*

$f(x) = (x^2 - 1)^3, \quad x \in [-1, 2].$

Paso 1: ¿Qué es lo primero que habría que hacer?

Enviar

La respuesta correcta es:
Hallar los puntos críticos

Respuesta incorrecta, revisa esta retroalimentación:

Método de intervalo cerrado

Este método se usa para hallar los valores máximos y mínimos absolutos de una función continua sobre el intervalo $[a, b]$.

Para encontrar estos valores se sigue el siguiente procedimiento:

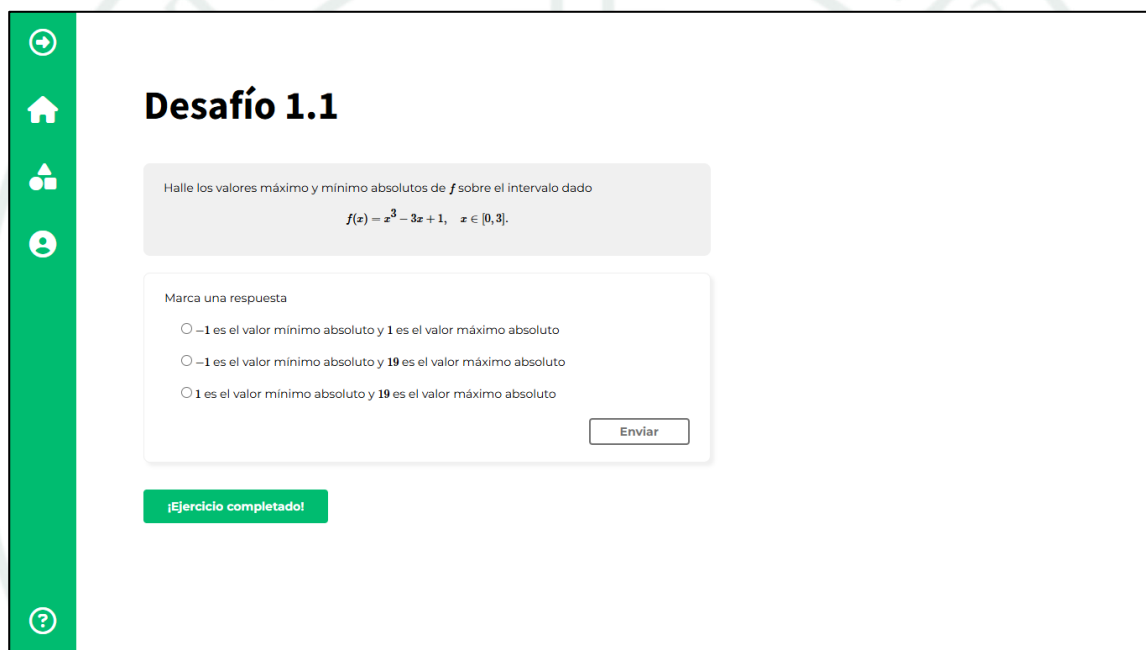
- Hallar los puntos críticos y sus imágenes.
- Hallar las imágenes de los extremos, es decir, $f(a)$ y $f(b)$.
- Comparar todas las imágenes, el número mayor será el valor máximo absoluto y el número menor será el valor mínimo absoluto.

Ejemplo: 0:03 / 0:14

Siguiente Salir

Finalmente, la página de Desafío como se ve en Figura 8, similar al ejercicio presenta el problema a resolver, sin embargo, este no cuenta con una interacción paso a paso, el estudiante tiene que resolver el reto individualmente e ingresar la respuesta final, al finalizarlo el programa devolverá un video con la resolución completa del ejercicio, de esta forma el estudiante consolida sus conocimientos en el tema realizado.

Figura 8 *Página de desafío*



The screenshot shows a web interface for a challenge. On the left is a green vertical sidebar with icons for home, search, user profile, and help. The main content area is titled "Desafío 1.1". Below the title, a grey box contains the instruction: "Halle los valores máximo y mínimo absolutos de f sobre el intervalo dado" and the function $f(x) = x^3 - 3x + 1, \quad x \in [0, 3]$. Below this, a white box asks to "Marca una respuesta" and lists three radio button options:
-1 es el valor mínimo absoluto y 1 es el valor máximo absoluto
-1 es el valor mínimo absoluto y 19 es el valor máximo absoluto
1 es el valor mínimo absoluto y 19 es el valor máximo absoluto
An "Enviar" button is located to the right of the options. At the bottom left of the main area, a green button says "¡Ejercicio completado!".

4.3.3. Diseño del robot tutor

El diseño del robot tutor se desarrolló siguiendo un enfoque modular, integrando componentes de hardware y software con el objetivo de facilitar la interacción con los estudiantes y complementar la plataforma web didáctica.

En el ámbito mecánico y estructural, el robot fue concebido con una base estable y una carcasa ligera que permite alojar los elementos electrónicos de forma segura. Su diseño buscó un

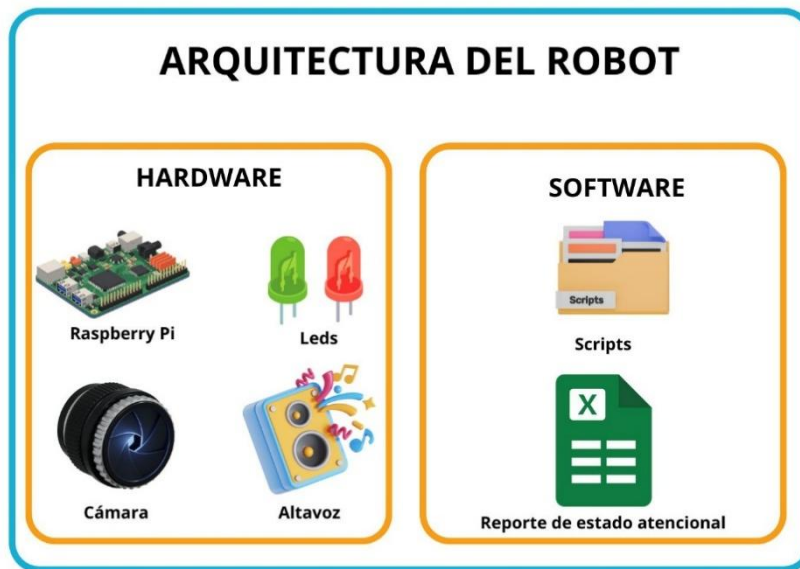
balance entre funcionalidad y estética, de manera que el prototipo resulte atractivo para los estudiantes y al mismo tiempo cumpla con su propósito educativo.

En cuanto al hardware, el robot incorpora un Raspberry Pi como unidad principal de procesamiento, una cámara USB para la detección de rostros y expresiones, así como un altavoz y luces led que permiten la emisión de sonidos y retroalimentación al usuario.

Respecto al software, se integró un algoritmo de visión computacional para el procesamiento de imágenes recibidas por la cámara, lo que permite determinar el estado emocional o de atención y enviar señales para el control de LEDs y el registro de eventos.

La Figura 9 muestra la arquitectura del robot, la cual se divide en hardware y software.

Figura 9 *Arquitectura del robot*



El diseño final responde a la necesidad de contar con un prototipo interactivo y funcional, más que con un producto comercial terminado. Por ello, se priorizó la viabilidad técnica, la facilidad de implementación y la integración efectiva con la plataforma web, asegurando así que

el robot cumpla con el rol de tutor asistente en el proceso de enseñanza de cálculo diferencial. A continuación, se muestra la imagen del prototipo final del robot.

Figura 10 *Prototipo final del Robot*



4.3.4. Diseño de la integración del sistema

La integración del sistema contempla una conexión directa y en tiempo real entre la plataforma web y el robot tutor, de forma que ambos trabajen como un único sistema coordinado.

La Figura 11 muestra un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.

Arquitectura General

- **Plataforma Web:** Gestiona las sesiones de usuario, administra el contenido educativo (videos, ejercicios y desafíos) y almacena en la base de datos el progreso de cada estudiante.
- **Robot Tutor:** Dispositivo físico que ejecuta el reconocimiento del estado atencional del estudiante mediante visión computacional, activa la señalización LED según el estado detectado y reproduce audio de apoyo durante las actividades de desafío.
- **Base de Datos Central:** Repositorio que almacena la información de sesiones, eventos de atención y métricas de interacción.

Comunicación y Vinculación de Sesión

- Al iniciar sesión en la plataforma, se genera un ID de sesión único que es enviado al robot tutor.
- Este ID permite al robot identificar a qué usuario debe vincularse y asociar las acciones que realice (monitoreo, música, indicadores) con su progreso en la plataforma.

Sincronización de Funciones

- Cuando el estudiante ingresa a la sección de Ejercicios, la plataforma envía una señal al robot para activar el monitoreo de atención mediante la cámara y el algoritmo de reconocimiento.
- En el modo Desafío, la plataforma ordena al robot la reproducción de música instrumental y, al finalizar, envía la orden para detenerla.

Intercambio de Datos y Registro

- Durante la sesión de ejercicios, el robot almacena localmente en un archivo Excel los eventos de atención y distracción detectados, con su respectiva marca de tiempo.
- Una vez finalizada la sesión, este archivo es enviado al correo del docente.

Desactivación Automática

- Al cerrar la sección de ejercicios o finalizar sesión, la plataforma envía una señal al robot para detener cualquier función activa (monitoreo o música).

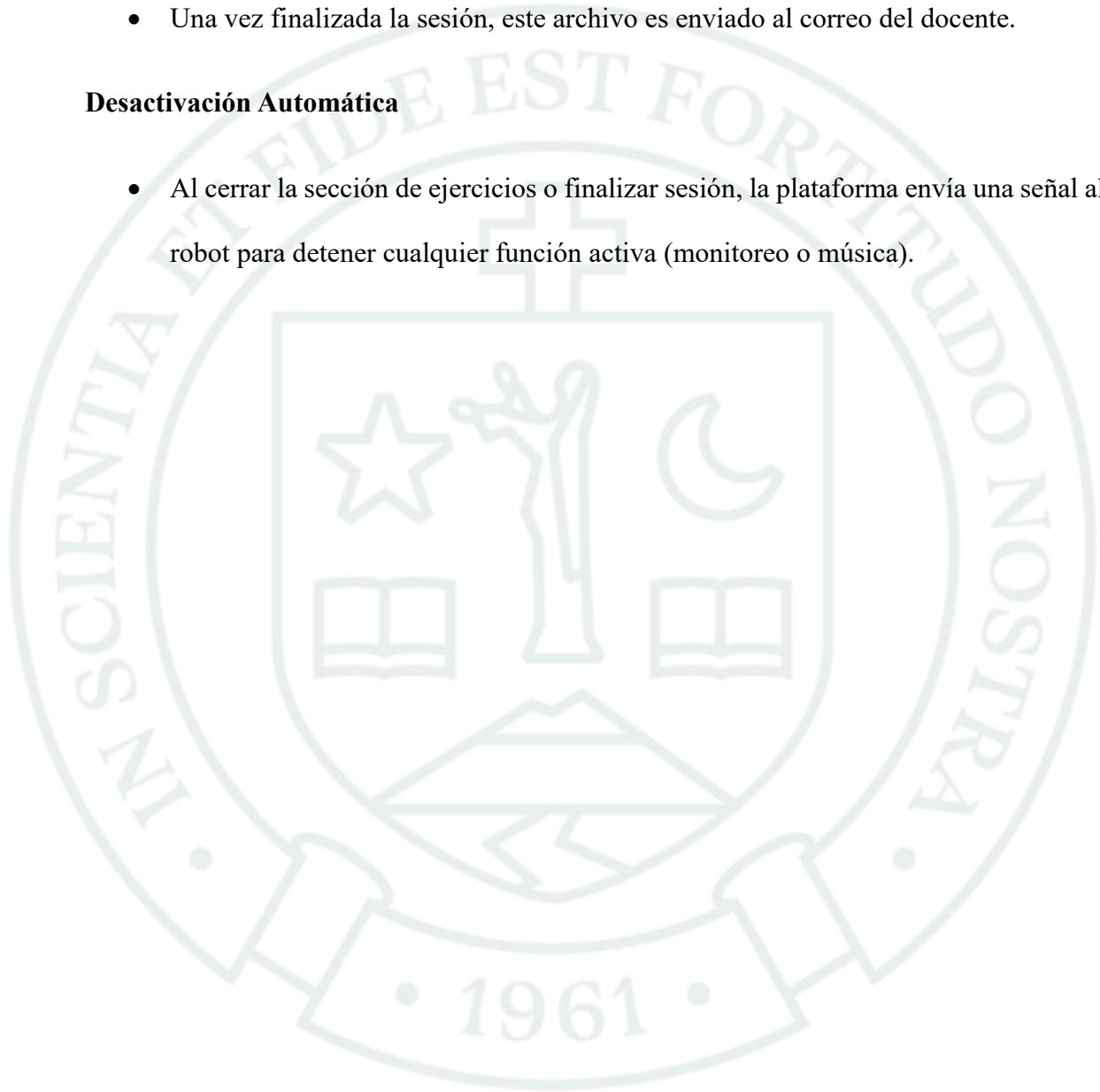
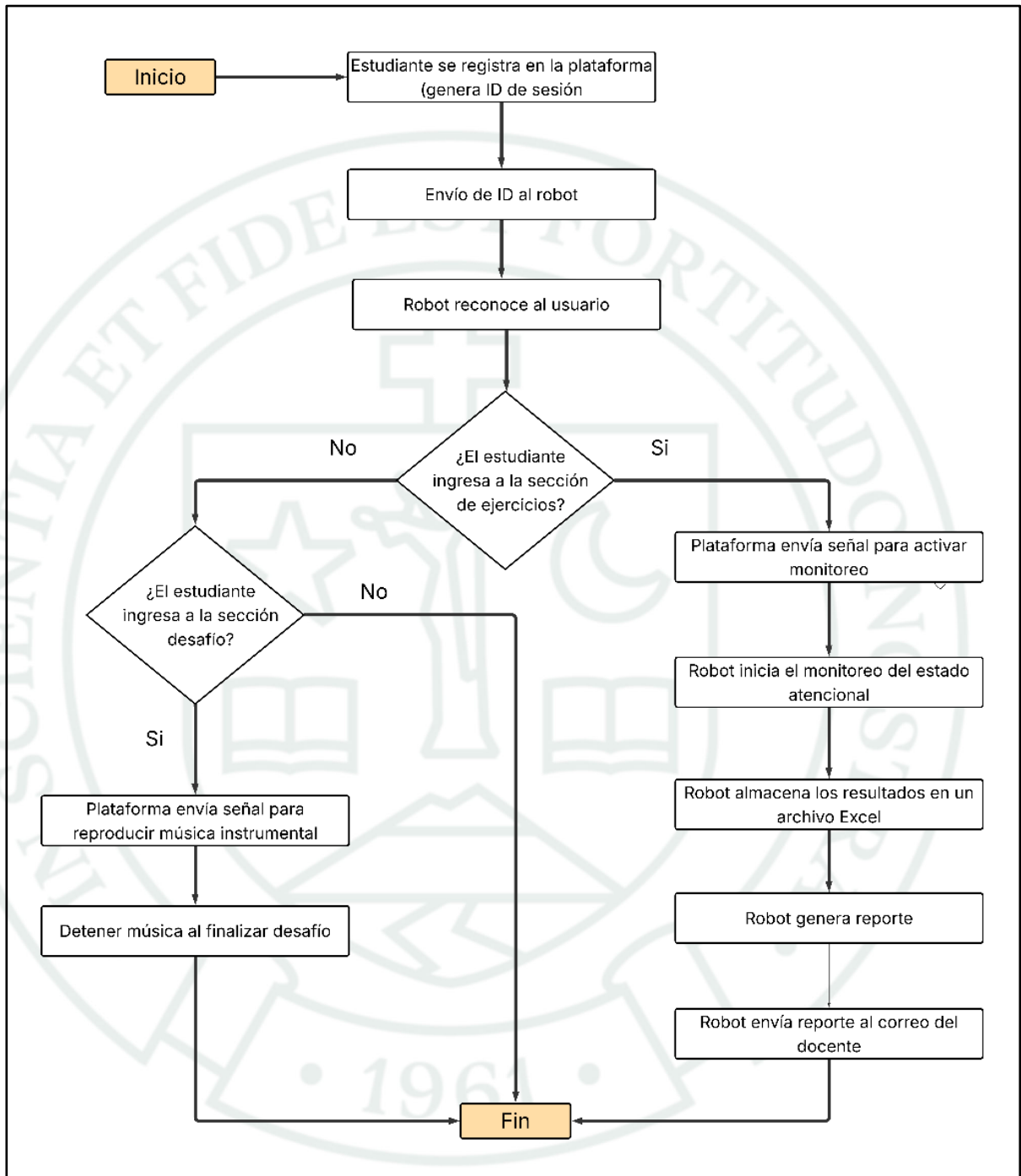


Figura 11 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema



La Figura 12, que se muestra a continuación refleja la interacción básica entre los dos usuarios identificados (docente y alumno).

Actores del Sistema:

- Docente: usuario encargado de gestionar el contenido del curso y consultar reportes generados por la plataforma y el robot.
- Estudiante: usuario que interactúa con el contenido, ejercicios y desafíos, mientras el sistema integrado monitorea su desempeño y atención.

Casos de uso del Docente

- Gestionar contenido del curso: el docente accede a una pantalla de administración donde puede agregar, editar o eliminar los temas, videos, ejercicios y desafíos disponibles en la plataforma.
- Consultar reportes de desempeño: visualiza estadísticas del progreso de cada estudiante en el curso, incluyendo avance por tema, resultados en ejercicios y desempeño en desafíos.
- Consultar estado atencional: revisa los reportes generados por el robot durante las sesiones de los estudiantes, con los eventos de atención y distracción registrados.
- Recibir reporte al docente (notificación): al finalizar cada sesión, el sistema envía automáticamente al correo del docente el archivo Excel con el registro atencional del estudiante.

Casos de uso del Estudiante

- Iniciar sesión en la plataforma: el estudiante se autentica en el sistema. Este caso de uso incluye automáticamente la generación de un ID de sesión único que vincula la plataforma con el robot tutor.

- Acceder a contenido del curso: el estudiante puede visualizar los temas, videos y materiales subidos por el docente.
- Resolver ejercicios: el estudiante responde los ejercicios propuestos. Este caso de uso incluye la activación del monitoreo de atención/distracción.
- Resolver desafíos: el estudiante enfrenta desafíos de mayor complejidad. Este caso de uso incluye la reproducción de música instrumental por parte del robot y la retroalimentación al finalizar por parte de la plataforma.
- Cerrar sesión: el estudiante finaliza su sesión en la plataforma. Este caso de uso puede extenderse con la desactivación automática de todas las funciones activas del robot.

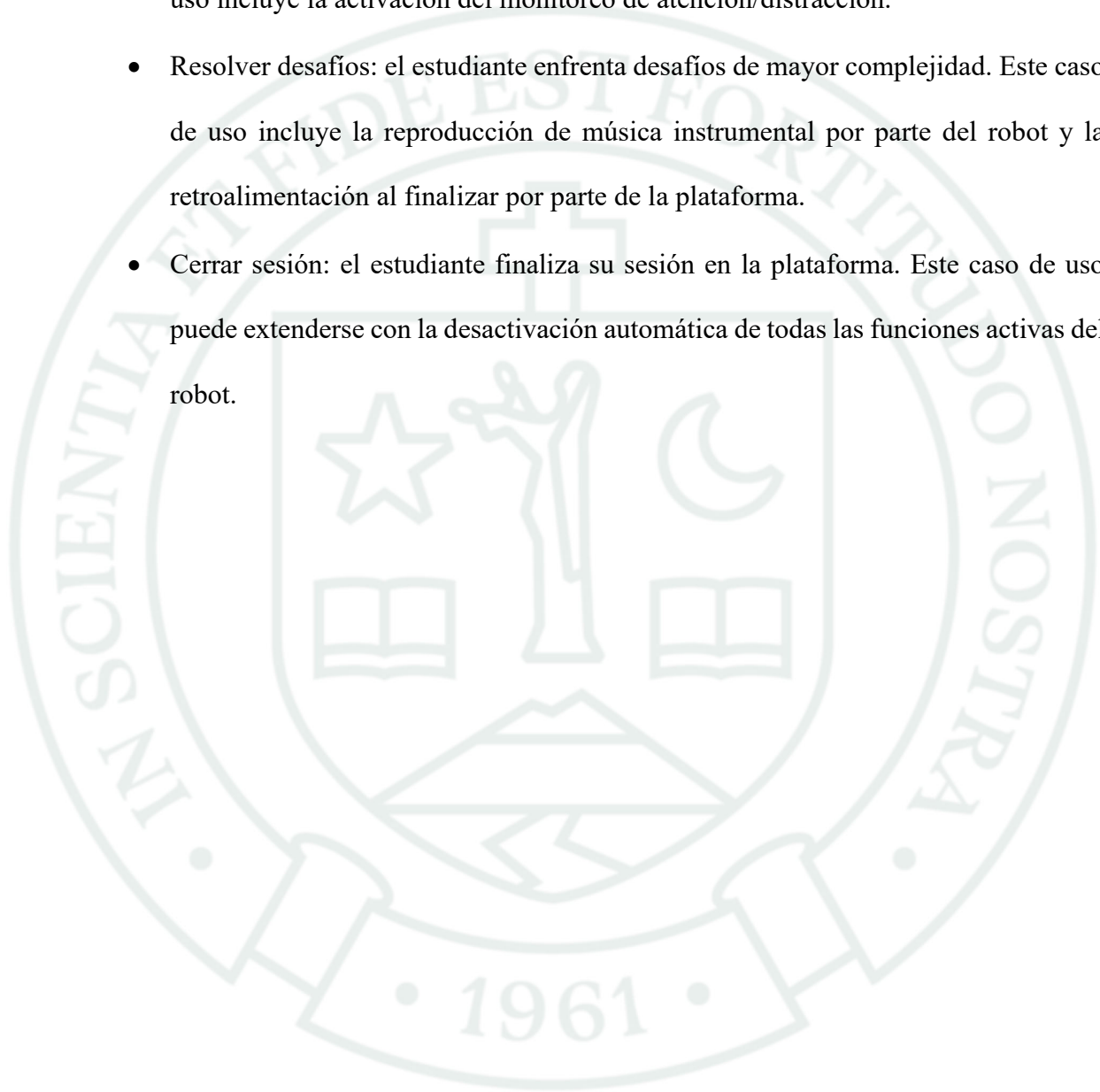
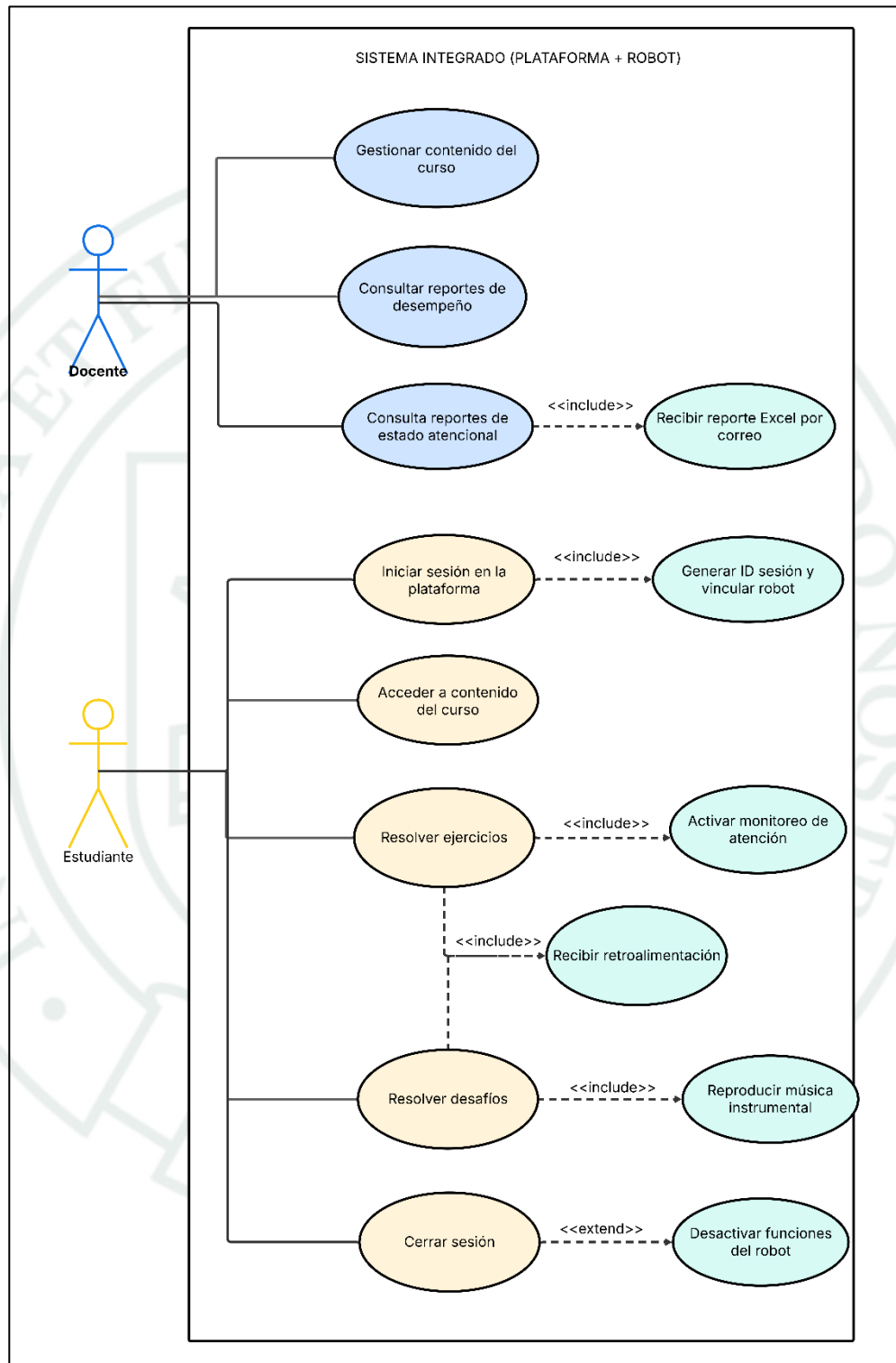


Figura 12 Diagrama de casos de uso del Sistema Integrado



4.4. Selección e integración tecnológica

4.4.1. Herramientas

El contenido de la plataforma educativa fue proporcionado por el docente responsable de la asignatura de cálculo diferencial, quien entregó el sílabo del curso como referencia para estructurar las unidades de aprendizaje. Para el desarrollo del material, se seleccionaron los temas correspondientes a la última fase del curso, los cuales incluyen cuatro clases clave:

- **Node Js:** Fue utilizado como el entorno de desarrollo del lado del servidor, permitiendo gestionar las operaciones lógicas del sistema, la interacción con la base de datos y la comunicación con la interfaz de usuario.
- **Express Js:** Un framework minimalista para Node.js que facilita la creación de aplicaciones web y APIs. Express fue eficiente y permitió la creación de rutas y manejo de solicitudes HTTP de manera ágil, lo que hizo más sencillo el desarrollo de la lógica del servidor y la integración con la base de datos.
- **MySQL:** Base de datos relacional que se encargó de almacenar y gestionar la información de los usuarios, ejercicios, resultados y progresos de los estudiantes. Facilita consultas eficientes para el acceso a los datos y su modificación.
- **HTML/CSS:** Se utilizaron para estructurar y estilizar la interfaz de usuario de la plataforma web. HTML definió el contenido y la estructura de las páginas, mientras que CSS fue responsable del diseño visual y la experiencia de usuario.
- **Digital Ocean:** Actuó como servidor en la nube donde se alojará la aplicación web y los recursos multimedia. Proporcionó el entorno de producción, asegurando que la plataforma esté disponible para los estudiantes y docentes en línea.

- **GitHub:** Fue la herramienta de control de versiones, permitiendo gestionar el código fuente del proyecto, realizar colaboraciones en equipo y mantener un historial de cambios en el desarrollo. Facilitó el trabajo en paralelo y la integración continua.

4.4.2. Materiales

- **Raspberry Pi:** Placa de desarrollo con 16 GB de RAM que actúa como unidad central de procesamiento, encargada de recibir la señal de la cámara, ejecutar el algoritmo de detección de atención en tiempo real y controlar los LEDs y altavoz.
- **Cámara USB:** Dispositivo encargado de capturar imágenes en tiempo real del rostro del estudiante.
- **Protoboard:** Permite realizar las conexiones entre la placa de desarrollo, la integración de los LEDs y resistencias.
- **Altavoz:** Salida de audio que emite música instrumental durante el modo desafío y permite saber el estudiante asociado al robot.
- **LEDs:** Luces indicadoras que cambian de color según el estado del estudiante detectado por el algoritmo: verde para atención y rojo para distracción.

4.5. Desarrollo funcional

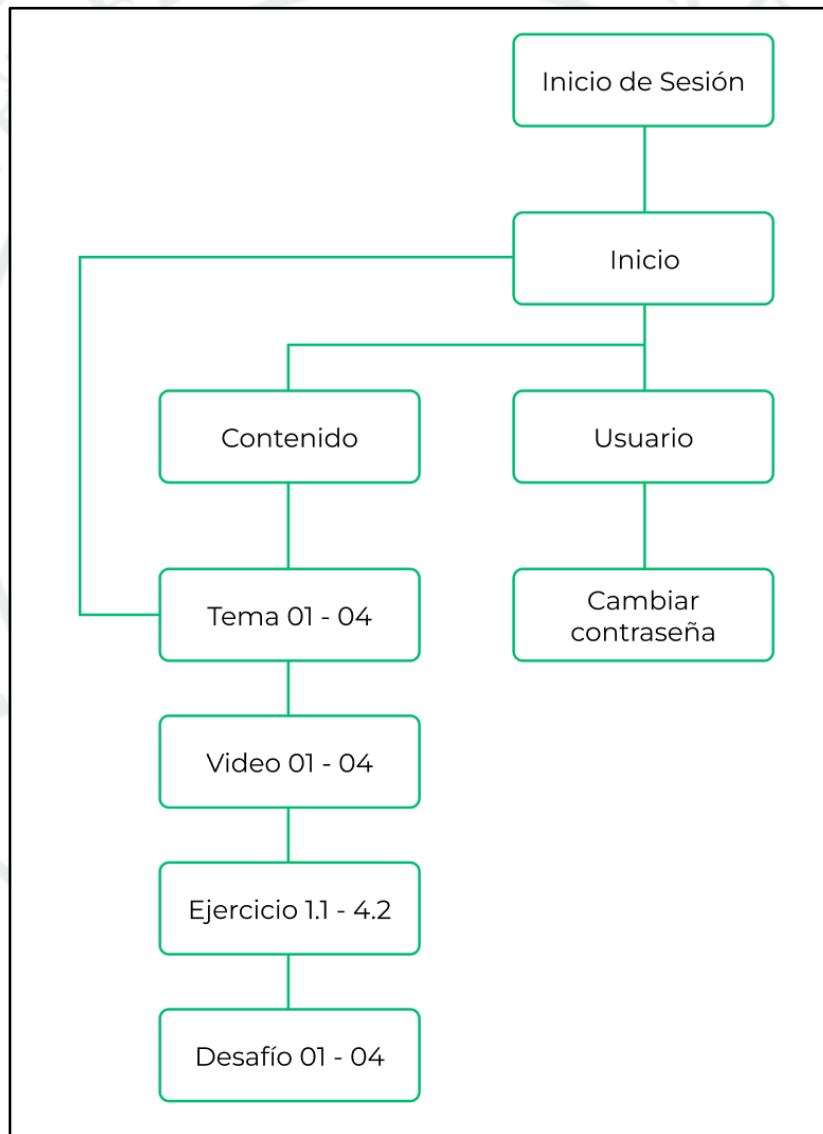
4.5.1. Implementación de la plataforma web

La implementación de la plataforma web es un componente crucial en el desarrollo del sistema educativo propuesto, ya que actúa como el entorno principal donde los estudiantes interactúan con los recursos educativos. A continuación, se detallan los aspectos clave de esta implementación:

Estructura de la plataforma

Se desarrolló la estructura diseñada en la sección anterior, garantizando una interfaz intuitiva y amigable. La navegación por la plataforma se detalla en la Figura 13, explicando el flujo de pantallas que se siguió para su implementación.

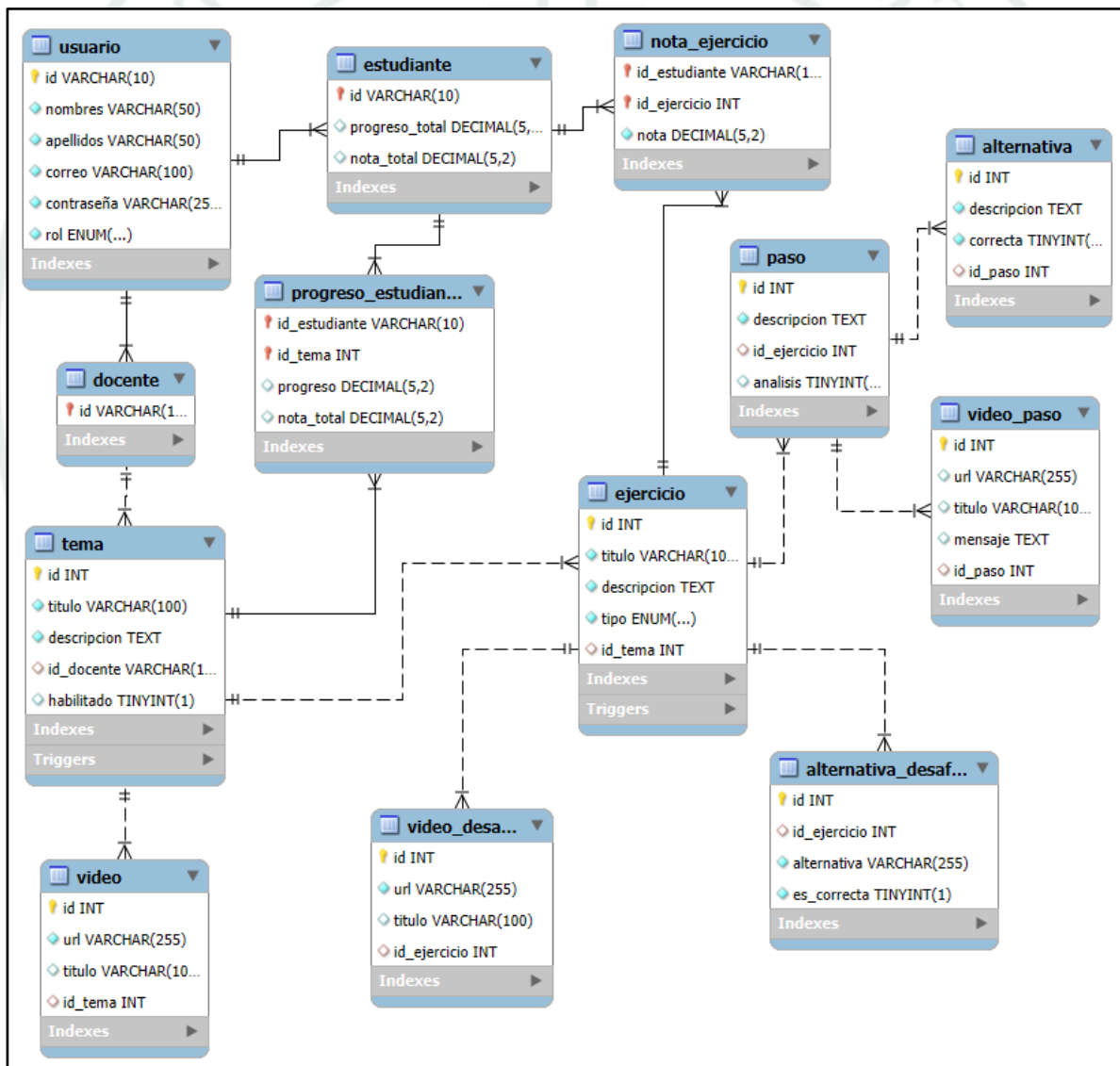
Figura 13 Estructura de navegación



Base de datos

La base de datos de la plataforma web fue diseñada para soportar múltiples funcionalidades clave, la visualización de los contenidos por cada tema, incluyendo videos, ejercicios y desafíos, la realización de estos ejercicios paso a paso y de los desafíos. El resultado es el modelo relacional de la Figura 14 y a continuación se explicarán las tablas más importantes.

Figura 14 Modelo relacional



- Usuario: Es la tabla central que almacena a todos los usuarios del sistema, tanto estudiantes como docentes.
- Estudiante: Extiende la información de la tabla usuario para los estudiantes, en este almacena su nota final y progreso.
- Tema: Almacena los contenidos. Es el núcleo del material educativo, porque sobre cada tema se crean ejercicios, videos y seguimiento de progreso.
- Video: Representa el video explicativo del tema
- Ejercicio: Contiene las actividades, puede ser de tipo ejercicio o desafío y se relaciona al tema.
- Paso: Contiene el paso a paso de cada ejercicio, este se relaciona a alternativa, y el video_paso
- Video_paso: Representa la retroalimentación que recibirá el estudiante al marcar un paso incorrectamente, pudiendo devolver el url del video explicativo o un mensaje con el texto resolutivo.

Desarrollo modular

En el desarrollo de la plataforma web, se implementó una programación modular que permitió dividir el código en diferentes archivos, mejorando la organización, legibilidad y mantenimiento del proyecto.

Cada funcionalidad o conjunto de funciones del sistema fue desarrollado en archivos independientes. Por ejemplo, las rutas de autenticación, la gestión de usuarios, y la lógica de los ejercicios interactivos se encuentran en módulos separados, permitiendo un desarrollo más organizado y la posibilidad de reutilizar código en diferentes partes de la aplicación.

Las vistas de la plataforma, como la página de inicio de sesión, el panel de control del usuario y la visualización de los ejercicios, también están estructuradas de manera modular. Cada vista está alojada en archivos distintos, utilizando un layout base común para asegurar consistencia en el diseño, pero permitiendo flexibilidad en el contenido.

Para mantener el orden y facilitar la gestión de los estilos, se creó un archivo CSS principal con las variables globales, como colores y tipografías, y luego se generaron archivos CSS específicos para cada vista o módulo. Esto garantiza que los estilos sean coherentes en toda la plataforma, pero también adaptables según las necesidades de cada sección.

Interactividad y Retroalimentación

El sistema fue diseñado para que, al resolver un ejercicio paso a paso, el estudiante pueda interactuar con el contenido de manera efectiva. Cada ejercicio se descompone en varios pasos, y se implementó una lógica condicional que permite mostrar al estudiante el primer paso, que incluye el concepto o indicación a resolver, la pregunta correspondiente y las alternativas de respuesta.

Cuando el estudiante envía su respuesta, el sistema verifica en la base de datos si la alternativa seleccionada está marcada como correcta o incorrecta. Si la respuesta es correcta, se muestra un mensaje de éxito. En caso de que la respuesta sea incorrecta, el sistema proporciona la respuesta correcta y ofrece al estudiante la opción de visualizar un video o un texto de retroalimentación que explica cómo realizar ese paso específico.

Ambos recursos están almacenados en la base de datos, lo que permite una fácil recuperación y presentación.

Este proceso se repite para cada paso del ejercicio, asegurando que el estudiante reciba retroalimentación continua y pueda avanzar de manera autónoma. La implementación de

condicionales y control de rutas en el código permite gestionar el flujo de preguntas y respuestas de manera eficiente.

En el caso de los desafíos, el enfoque es ligeramente diferente. El estudiante recibe únicamente la consigna del desafío y las alternativas que representan las respuestas finales. A diferencia de los ejercicios guiados, en este caso, el estudiante resuelve el desafío de manera independiente. Una vez que ha completado su solución, marca la respuesta correspondiente. Si la respuesta es incorrecta, el sistema muestra un video del docente resolviendo el desafío, lo que proporciona una oportunidad adicional de aprendizaje y refuerzo.

Este enfoque de interactividad y retroalimentación, basado en una lógica de programación robusta, no solo mejora la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, sino que también les permite recibir apoyo personalizado en tiempo real. La combinación de recursos multimedia y un sistema de retroalimentación efectiva es clave para fomentar un aprendizaje autónomo y motivador en el ámbito del cálculo diferencial.

4.5.2. Desarrollo del robot tutor

El desarrollo del robot tutor se llevó a cabo mediante una metodología ágil basada en Scrum, lo que permitió implementar las funcionalidades de forma incremental y con validaciones continuas. Esta elección metodológica se debió a la naturaleza iterativa del proyecto, en el que era necesario integrar hardware y software, probar componentes, código y realizar ajustes según los resultados obtenidos.

Planificación inicial

En la fase inicial se definieron los objetivos principales del robot:

- Detectar el estado atencional del estudiante mediante visión computacional.

- Encender un LED con un color asociado al estado detectado.
- Integrarse con la plataforma web para reaccionar a eventos como el inicio de sesión de un estudiante.
- Emitir música instrumental para mejorar la concentración del estudiante.

Desarrollo iterativo por sprints

El trabajo se dividió en sprints funcionales, cada uno enfocado en un conjunto específico de características:

Sprint 1 – Configuración del entorno y hardware

- Conexión de la Raspberry Pi con la cámara, leds, protoboard y altavoz.
- Configuración de librerías y dependencias en Python, incluyendo OpenCV y control de LEDs.

Sprint 2 – Implementación de la detección del estado atencional

- Integración del módulo de reconocimiento facial y malla facial.
- Asignación de colores LED para cada estado (atención y distracción).

Sprint 3 – Conexión con la plataforma web

- Implementación de la comunicación cliente-servidor mediante Socket.IO.
- Pruebas de conexión entre el robot y el servidor en Digital Ocean.

Sprint 4 – Integración con el flujo de usuario

- Desarrollo de la lógica para que el robot identifique cuándo un usuario inicia sesión.
- El robot anuncie por voz el nombre del usuario conectado.

Sprint 5 – Optimización y pruebas de campo

- Ajuste de sensibilidad en la detección del estado atencional.
- Verificación del sistema de iluminación de los leds.
- Prueba de captura y procesamiento facial.
- Medición de la distancia óptima del rostro.
- Evaluación de la detección de estado en tiempo real.

Pruebas de campo con estudiantes para verificar el funcionamiento

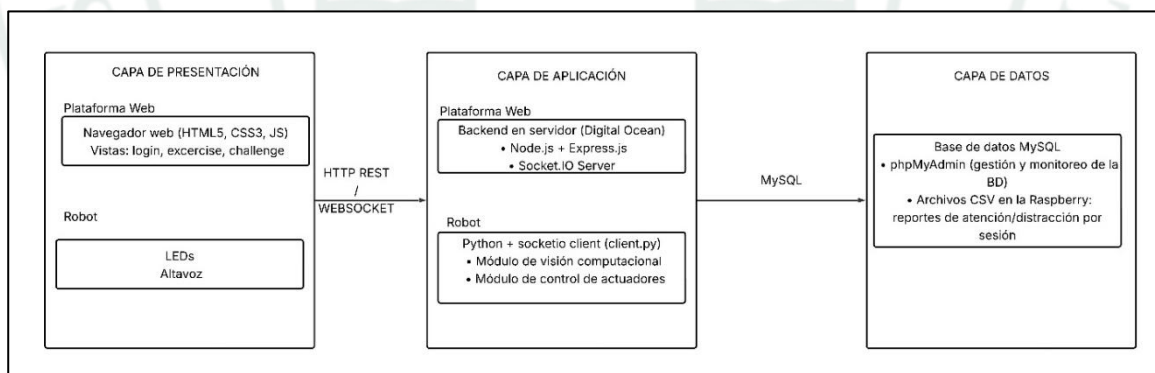
La figura 15 muestra a continuación representa la integración tecnológica basada en el patrón de Arquitectura de Software de 3 capas.

- En la capa de presentación se encuentran los componentes que permitirán la interacción del usuario con el sistema integrado. En el caso de la plataforma se implementa una página web accesible desde cualquier navegador que incluye las vistas de inicio de sesión, contenido, ejercicios y desafíos. Por parte del robot se encuentran los leds y el altavoz que permitirán indicar el estado atencional y reproducir música durante el desafío. La comunicación entre esta capa y la siguiente se realiza mediante solicitudes http y un canal WebSocket para el envío y recepción de información en tiempo real.
- La capa de aplicación es la encargada de gestionar el funcionamiento del sistema integrado, es decir, de la lógica del sistema. Del lado de la plataforma el backend se encuentra alojado en Digital ocean el cual permite gestionar el inicio de sesión, el registro de sesiones activas, el progreso, el contenido y las actividades. El WebSocket mantiene la comunicación bidireccional y en tiempo real de la

plataforma y el robot, además de emitir los eventos para activar los leds y la reproducción de música. Por parte del robot se encarga de los módulos de visión computacional y del control de actuadores; el primero se encarga de la captura de imágenes, la detección del rostro y determinar el estado atencional, y el segundo se encarga de administrar los leds y altavoz.

- Finalmente, la capa de datos es la encargada de almacenar todos los datos e información necesaria para el funcionamiento, seguimiento y análisis del sistema. La plataforma almacena en la base de datos la información de los usuarios, sesiones activas, historial de acceso y el progreso en los ejercicios y desafíos. Por su parte, el robot almacena el id de sesión asignado, el intervalo de tiempo asociado a cada estado atencional detectado y el total de ocurrencias durante la sesión. Esto permite generar reportes posteriores para su análisis.

Figura 15 Esquema de integración tecnológica



4.6. Pruebas e integración

Con el propósito de asegurar la correcta funcionalidad de la plataforma desarrollada, se implementaron pruebas unitarias e integrales utilizando Jest, un framework de testing ampliamente

empleado en aplicaciones Node.js. En total se diseñaron y ejecutaron 37 pruebas, las cuales fueron superadas satisfactoriamente como se visualiza en la Figura 16.

Figura 16 Resultados test de la plataforma

```
Test Suites: 8 passed, 8 total
Tests:      37 passed, 37 total
Snapshots:  0 total
Time:       1.893 s
```

Las pruebas unitarias se enfocaron en verificar el comportamiento de los controladores (controllers) que constituyen la lógica principal del sistema:

- AuthController: validó los procesos de inicio y cierre de sesión, asegurando que las credenciales sean correctamente verificadas y que el cierre invalide la sesión activa.
- UserController: comprobó la obtención y visualización de los datos del usuario, incluyendo nombre, correo y rol, los cuales se despliegan en la sección Perfil.
- ChangePasswordController: verificó el cambio de contraseña, confirmando que el sistema gestione de forma segura la actualización de credenciales.
- ContentController: aseguró la correcta carga de los recursos didácticos (temas, videos, ejercicios y desafíos) desde la base de datos para mostrarlos en la sección Contenido.
- VideoController: probó la recuperación del enlace de video desde la base de datos y su posterior envío al frontend para su reproducción.
- ExerciseController: evaluó las funciones de visualización de ejercicios paso a paso, el retorno de retroalimentación y el registro de calificaciones obtenidas por los estudiantes.

- ChallengeController: validó la lógica de los desafíos, garantizando que se muestren las preguntas, alternativas y retroalimentación correspondiente.

Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas de integración, destinadas a verificar el flujo completo de interacción entre módulos. En particular, se probó el proceso de inicio de sesión y acceso al contenido, confirmando la interoperabilidad entre los controladores y la consistencia en la experiencia de usuario.

Los resultados obtenidos evidencian que la plataforma cumple con los requisitos funcionales establecidos, asegurando un comportamiento estable y confiable en los escenarios evaluados.

Para poder validar el registro de estados del robot, se realizaron pruebas en cuanto a la generación de reportes. Se utilizó la técnica de observación directa, anotando los tiempos en los cuales el estudiante se distraía o permanecía atento para luego compararlos con los resultados del robot. La Figura 17 muestra un reporte en Excel generado por el robot.

Figura 17 *Log de estado de atención*

Inicio	Fin	Estado
23:24:03	23:24:05	atento
23:24:05	23:24:05	distraído
23:24:05	23:24:05	atento
23:24:05	23:24:06	distraído
23:24:06	23:24:07	atento
23:24:07	23:24:08	distraído
23:24:08	23:24:08	atento
23:24:08	23:24:09	distraído
23:24:09	23:24:09	atento

4.7. Validación

La fase de validación se dividió en dos partes. En primer lugar, se realizó una evaluación con los estudiantes, la cual, tenía como objetivo analizar el impacto inicial de la plataforma web en el nivel de aprendizaje y la motivación durante su implementación. En una segunda etapa, se realizó una validación técnica del sistema integrado mediante la participación de expertos en robótica y sistemas, quienes analizaron el desempeño del hardware, la estabilidad del software desarrollado y la correcta integración entre ambos componentes. Para ello, se aplicaron diferentes instrumentos vinculados directamente a las variables e indicadores definidos en el Capítulo I.

Durante las primeras semanas, el docente desarrolló clases convencionales correspondientes a la primera fase del curso y administró un examen pretest, con el fin de establecer la línea base del nivel de aprendizaje de los estudiantes. Posteriormente, los participantes utilizaron la plataforma web, mientras que en las sesiones presenciales se resolvían dudas y se brindaba acompañamiento adicional.

Una vez concluido el periodo de uso de la plataforma, se aplicaron los instrumentos de evaluación correspondientes: postest, SUS, TAM y MSLQ, además de las listas de verificación técnica del sistema. Este proceso permitió recolectar información cuantitativa y cualitativa para valorar el desempeño técnico y pedagógico del sistema desarrollado.

Con el objetivo de asegurar la coherencia entre las variables planteadas y los procedimientos implementados durante esta fase, se elaboró la siguiente tabla de correspondencia:

Tabla 3 Correspondencia entre variables, indicadores e instrumentos de validación

Variable	Indicadores	Instrumento	Tipo de dato recogido
Variable Independiente: Sistema Integrado	Cumplimiento de requisitos funcionales Evaluación técnica del prototipo	Lista de verificación técnica Ficha técnica de evaluación por expertos	Dato categórico (Sí/No) Escala ordinal (puntajes por criterio)
Variable Dependiente: Nivel de aprendizaje	Variación entre las puntuaciones de pretest y postest	Exámenes pretest y postest	Puntajes numéricos
Variable Dependiente: Motivación	Puntuación obtenida en cuestionario	Cuestionario de Estrategias Motivadas para el Aprendizaje (MSLQ)	Puntuaciones por dimensión (escala Likert 1–5)
Variable Dependiente: Aceptación	Puntuación obtenida en encuesta Puntuación obtenida en encuesta	Encuesta de Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM) Encuesta de Usabilidad y Satisfacción (SUS)	Puntuaciones por dimensión (escala Likert 1–5) Puntaje SUS (0–100)

Esta matriz permite visualizar de manera clara la relación entre las variables establecidas en el Capítulo I y los instrumentos utilizados para medirlas, asegurando la trazabilidad metodológica del estudio.

A continuación, se describen los principales instrumentos utilizados durante la validación del sistema integrado.

4.7.1. Lista de verificación técnica

Se utilizó una lista de verificación técnica para validar que todos los componentes del sistema, tanto la plataforma web como el robot tutor, cumplieran con los requisitos funcionales definidos en etapas anteriores. Esto incluyó la verificación de la retroalimentación automática, el registro de atención y la sincronización entre ambos componentes.

Tabla 4 Lista de verificación técnica de la plataforma web

Requisito	Condición de cumplimiento	¿Se cumple? Si/No
RF01: Creación de Usuario	Los usuarios tienen sus datos de acceso funcionales	Si
RF02: Autenticación de usuario	El usuario puede acceder a su cuenta con sus datos de acceso El sistema muestra mensajes de error si las credenciales son incorrectas	Si Si
RF03: Usuario estudiante	El estudiante tiene acceso a las actividades dentro de la plataforma.	Si
RF04: Contenido por temas	Los contenidos están organizados por temas de acuerdo con el sílabo, y son accesibles por los estudiantes.	Si
RF05: Acceso a videos	El usuario puede ver los videos desde la plataforma	Si
RF06: Acceso a Ejercicios	El usuario puede ver y acceder a los ejercicios por tema Los ejercicios están divididos por pasos	Si Si
RF07: Retroalimentación por Ejercicio	La retroalimentación se da al enviar una respuesta por pasos Si se manda una respuesta correcta se muestra un mensaje de éxito Si se manda una respuesta incorrecta se muestra el video o texto de retroalimentación	Si Si Si
RF08: Desafíos	El usuario puede ver y acceder a los desafíos por tema Si se manda una respuesta correcta se muestra un mensaje de éxito Si se manda una respuesta incorrecta se muestra el video o texto de retroalimentación	Si Si Si

Tabla 5 Lista de verificación técnica del robot

Requisito	Condición de cumplimiento	¿Se cumple? Si/No
RFR01: Vinculación a sesión por ID	El robot recibe un ID de sesión enviado por la plataforma y se asocia a este	Si
RFR02: Monitoreo de atención	El robot empieza a almacenar los eventos de atención en tiempo real.	Si
RFR03: Indicador luminoso de atención	El robot enciende un LED verde si el estudiante está Atento y un LED rojo si está Distráido.	Si
RFR04: Registro de eventos	El robot almacena en un archivo excel la hora, estado de atención y duración de cada cambio detectado.	Si
	Al final de la sesión, se cuenta con un registro completo de la atención del estudiante.	Si
RFR05: Finalización del monitoreo	La plataforma envía el evento de salida de la sesión, el robot desactiva el módulo de visión computacional y finaliza el registro de eventos y de los leds.	Si
	El monitoreo queda apagado y los datos almacenados listos para su exportación.	Si
RFR06: Reproducción de música en modo desafío	El robot reproduce música instrumental para favorecer la concentración mientras el estudiante resuelve el desafío.	Si
	La música se detiene automáticamente al enviar la respuesta o salir de la sección.	Si

4.7.2. Encuesta SUS

Se aplicó el cuestionario SUS para evaluar la facilidad de uso percibida de la plataforma web. Este instrumento permitió identificar la claridad de la interfaz, la comprensión de las funcionalidades y la experiencia general del usuario. El cuestionario completo se presenta en el Anexo B.

4.7.3. Encuesta TAM

Para evaluar la aceptación tecnológica de la plataforma y su influencia en la motivación, se aplicó el modelo TAM, que mide percepción de utilidad, facilidad de uso, actitud hacia el sistema e intención futura de uso. El instrumento completo se incluye en el Anexo C.

4.7.4. Cuestionario de Estrategias Motivadas para el Aprendizaje (MSLQ)

La motivación académica de los estudiantes se evaluó mediante la subescala de motivación del MSLQ, que mide interés, autoeficacia y estrategias motivadas para el aprendizaje. El cuestionario completo se encuentra en el Anexo D.

4.7.5. Prueba Pretest y Postest

La evaluación del nivel de aprendizaje se realizó mediante una prueba objetiva aplicada antes y después del uso del sistema. Estos instrumentos permitieron medir la variación en el rendimiento académico y verificar el impacto inicial de la plataforma y del robot tutor sobre la comprensión de los contenidos de Cálculo Diferencial.

4.7.6. Ficha de evaluación técnica por expertos

Para evaluar la viabilidad técnica y funcional del prototipo de robot tutor se utilizó una ficha de evaluación técnica aplicada mediante juicio de expertos. Este instrumento permitió analizar diferentes aspectos del sistema, tales como el funcionamiento del hardware, la integración con la plataforma web, la capacidad de detección de atención mediante visión computacional y la utilidad del robot como apoyo al proceso de aprendizaje. La ficha de evaluación fue elaborada con base en criterios técnicos definidos con el apoyo de un especialista en sistemas. Posteriormente, el instrumento fue revisado y validado por otro experto del área, con el propósito de garantizar la claridad, pertinencia y coherencia de los criterios de evaluación. El instrumento completo se encuentra en el Anexo E.

Una vez validada, la ficha fue utilizada por especialistas en sistemas y mecatrónica para emitir una valoración técnica del prototipo desarrollado. La evaluación se encuentra en el Anexo F.



CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Pruebas e integración

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la implementación y evaluación del sistema integrado, conformado por una plataforma web didáctica y un robot tutor interactivo con visión computacional, diseñado para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje del curso de Cálculo Diferencial.

Los resultados se organizan según las variables e indicadores definidos en la metodología, con el propósito de analizar el desempeño técnico del sistema y su influencia en el nivel de aprendizaje y la motivación de los estudiantes.

Para ello, se procesaron los datos recolectados mediante pruebas de conocimiento (pretest y postest), cuestionarios estandarizados (SUS, MSLQ y TAM), rúbricas de evaluación técnica y encuestas de facilidad de uso. El análisis incluyó estadísticos descriptivos e inferenciales, a fin de identificar diferencias significativas y patrones que evidencien el impacto del sistema en el proceso educativo.

5.1.1. Sistema integrado

En este apartado se presentan los resultados relacionados con la variable independiente, correspondiente al sistema integrado compuesto por la plataforma web didáctica y el robot tutor interactivo. Los indicadores considerados fueron el cumplimiento de los requisitos funcionales y la evaluación técnica del robot mediante una rúbrica aplicada por un experto. Estos resultados permiten valorar el desempeño técnico y la funcionalidad del sistema desarrollado antes de su aplicación educativa.

5.1.1.1. Funcionalidad del sistema integrado

Los resultados obtenidos a partir de la lista de verificación en la Tabla 4, muestran que la plataforma web integrada al robot tutor interactivo cumple con la totalidad de los requisitos funcionales (RF) y de requisitos funcionales del robot (RFR) planteados en el diseño inicial, considerando que son funciones básicas e indispensables.

En cuanto a los requisitos funcionales de la plataforma web, se evidencia que el sistema permite la creación y autenticación de usuarios (RF01 y RF02), garantizando un acceso seguro mediante credenciales válidas y mostrando mensajes adecuados en caso de error, lo que asegura la usabilidad y confiabilidad del sistema. Asimismo, los estudiantes cuentan con acceso a los recursos de aprendizaje planificados: contenidos organizados por temas de acuerdo con el sílabo (RF04), visualización de videos (RF05), ejercicios paso a paso (RF06) y desafíos adicionales (RF08). En todos los casos, la retroalimentación (RF07) se ofrece de forma inmediata, adaptada tanto para respuestas correctas como incorrectas, lo cual refuerza el proceso de aprendizaje autónomo.

Respecto a los requisitos asociados al robot tutor (RFR), se confirma la correcta vinculación con la plataforma a través del ID de sesión (RFR01) y la ejecución del monitoreo de atención en tiempo real (RFR02). Este proceso se complementa con el uso de indicadores luminosos (RFR03) y el registro detallado de eventos en archivos exportables (RFR04), lo que brinda una trazabilidad completa del comportamiento atencional de los estudiantes durante la sesión. Además, la finalización del monitoreo se lleva a cabo de forma controlada desde la plataforma (RFR05), lo que garantiza la integridad de los datos obtenidos. Finalmente, se verificó el cumplimiento de la reproducción de música instrumental durante los desafíos (RFR06), favoreciendo un entorno de concentración, con la detención automática al culminar la actividad.

En conclusión, los resultados indican un 100% de cumplimiento de los requisitos técnicos planteados, demostrando que la solución tecnológica desarrollada responde de manera satisfactoria a los objetivos del proyecto. Esto valida tanto la viabilidad de la integración entre la plataforma web y el robot tutor, como su aplicabilidad en contextos educativos reales, contribuyendo a la innovación en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

5.1.1.2. Funcionalidad e integración del robot

Los resultados obtenidos a partir de la lista de verificación en la Tabla 5, muestran que la plataforma web integrada al robot tutor interactivo cumple con la totalidad de los requisitos funcionales (RF) y de requisitos funcionales del robot (RFR) planteados en el diseño inicial, considerando que son funciones básicas e indispensables.

5.1.2. Nivel de aprendizaje

En esta sección se exponen los resultados asociados al nivel de aprendizaje alcanzado por los estudiantes tras el uso del sistema integrado. El análisis se realizó considerando dos indicadores: la variación entre las puntuaciones del pretest y postest, y el puntaje de facilidad de uso obtenido mediante encuesta. Estos resultados permiten determinar si el uso del sistema generó mejoras significativas en el desempeño académico y si la plataforma fue percibida como accesible y comprensible por los usuarios.

5.1.2.1. Análisis de resultados pretest y postest

Con el objetivo de evaluar el impacto del uso de la plataforma didáctica sobre el nivel de aprendizaje de los estudiantes en la asignatura de Cálculo Diferencial, se aplicó una prueba diagnóstica (pretest) al inicio de la intervención y una evaluación equivalente (postest) al finalizar la fase. A continuación, se presentan los principales indicadores estadísticos obtenidos.

Tabla 6 Indicadores estadísticos de pretest y postest

	Variable 1	Variable 2
Media	4.41	7.78
Varianza	17.78	32.83
Observaciones	48	48
Coefficiente de correlación de Pearson	0.573	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	47	
Estadístico t	-4.89	
P(T<=t) una cola	0.00000617	
Valor crítico de t (una cola)	1.678	
P(T<=t) dos colas	0.0000123	
Valor crítico de t (dos colas)	2.012	

El análisis comparativo muestra un incremento notable en el rendimiento académico promedio de los estudiantes, pasando de una media de 4.41 en el pretest a 7.78 en el postest. Asimismo, se observa un aumento en la dispersión de las respuestas, con una varianza de 17.78 en el pretest y 32.83 en el postest.

Para determinar si esta diferencia es estadísticamente significativa, se aplicó una prueba t de Student para muestras relacionadas. Los resultados muestran un estadístico t de -4.89, con un valor p (dos colas) de 0.0000123, muy por debajo del umbral de significancia de 0.05. Esto indica que la diferencia entre ambas medias no es producto del azar, sino que es estadísticamente significativa, evidenciando una mejora real en el desempeño de los estudiantes tras el uso de la herramienta propuesta.

Además, el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.573$) sugiere una correlación moderada positiva entre los puntajes obtenidos en ambas pruebas, lo que puede interpretarse como una tendencia general de mejora en el rendimiento individual

5.1.3. Nivel de motivación

Este apartado presenta los resultados vinculados con la motivación académica de los estudiantes después de utilizar la plataforma y el robot tutor. Los indicadores analizados corresponden a la puntuación obtenida en el cuestionario MSLQ (Motivated Strategies for Learning Questionnaire) y al Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM). Los datos permiten evaluar el grado de motivación, interés y aceptación que generó el uso del sistema en el contexto de aprendizaje del curso.

5.1.3.1. Análisis de resultados del cuestionario MSLQ

Los resultados obtenidos mediante el cuestionario MSLQ (Motivated Strategies for Learning Questionnaire) permiten realizar una primera aproximación al impacto que tuvo la implementación de la plataforma web y el robot tutor interactivo sobre la motivación y las estrategias de aprendizaje de los estudiantes en la asignatura de cálculo diferencial.

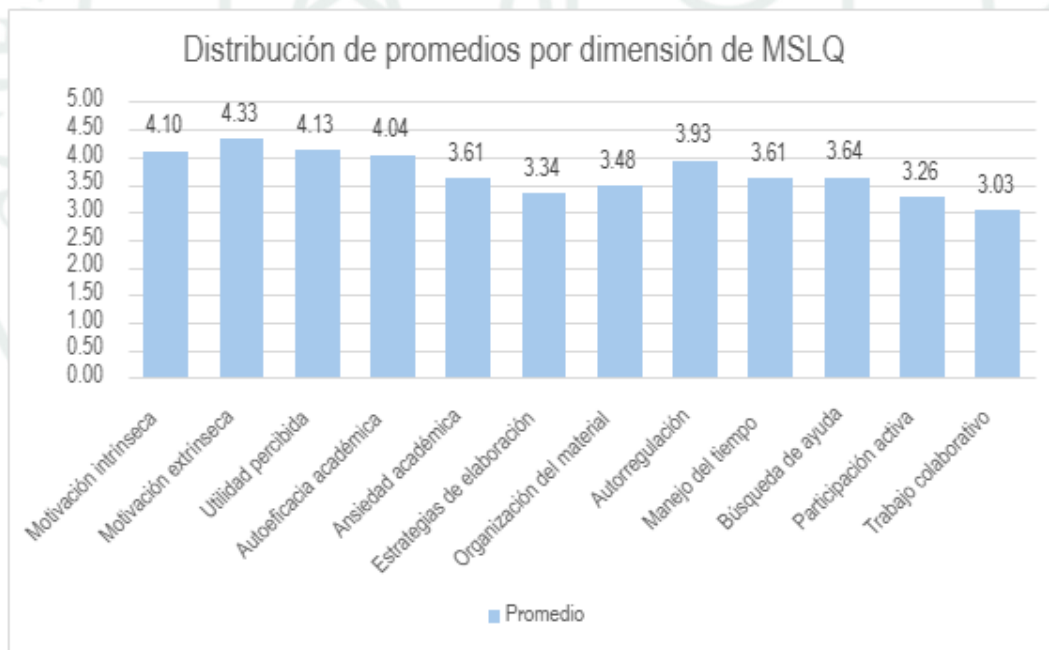
Dado que esta medición se realizó únicamente al finalizar una de las fases del semestre, se debe considerar esta información como una base preliminar, no concluyente, aunque sí representativa de las percepciones iniciales de los estudiantes tras el uso de la solución propuesta.

En la Tabla 7 se presentan los valores estadísticos descriptivos por cada dimensión del cuestionario. Asimismo, la Figura 18 permite visualizar comparativamente los promedios obtenidos por dimensión.

Tabla 7 Resultados de la encuesta MSLQ

Dimensión	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Motivación intrínseca	4.10	0.90	1	5
Motivación extrínseca	4.33	0.90	1	5
Utilidad percibida	4.13	0.88	2	5
Autoeficacia académica	4.04	0.90	1	5
Ansiedad académica	3.61	1.03	1	5
Estrategias de elaboración	3.34	1.19	1	5
Organización del material	3.48	0.99	1	5
Autorregulación	3.93	0.80	1	5
Manejo del tiempo	3.61	0.87	2	5
Búsqueda de ayuda	3.64	1.00	1	5
Participación activa	3.26	1.17	1	5
Trabajo colaborativo	3.03	1.08	1	5
Motivación intrínseca	4.10	0.90	1	5

Figura 18 Distribución de promedios por dimensión MSLQ



Los resultados reflejan niveles altos de motivación, tanto intrínseca ($M = 4.10$) como extrínseca ($M = 4.33$), y una percepción elevada de la utilidad del curso ($M = 4.13$), lo que indica que los estudiantes consideraron valiosa la experiencia de aprendizaje brindada por la plataforma

y el robot tutor. Asimismo, la autoeficacia académica ($M = 4.04$) fue positiva, reflejando confianza en sus habilidades para aprender el contenido.

En cuanto a las estrategias de aprendizaje, se observaron puntuaciones destacables en autorregulación ($M = 3.93$), búsqueda de ayuda ($M = 3.64$) y manejo del tiempo ($M = 3.61$). Sin embargo, las dimensiones como participación activa ($M = 3.26$) y trabajo colaborativo ($M = 3.03$) fueron las de menor puntaje, lo cual sugiere que la interacción activa y el aprendizaje cooperativo podrían fortalecerse en futuras versiones de la metodología. La ansiedad académica ($M = 3.61$) presentó un nivel moderado, indicando que, si bien hubo algo de estrés, no fue un factor predominante.

En resumen, estos resultados muestran una percepción positiva general, con un buen nivel de motivación, confianza y autorregulación, lo cual constituye una base sólida para continuar mejorando e implementando la propuesta tecnológica.

5.1.4. Aceptación

5.1.4.1. Facilidad de uso de la plataforma web

Para evaluar la facilidad de uso de la plataforma web, entendida como un factor que influye en el nivel de aprendizaje de los estudiantes, se aplicó el System Usability Scale (SUS), un instrumento ampliamente validado que permite medir la usabilidad percibida de los sistemas interactivos. La facilidad de uso se consideró un componente relevante, ya que una interfaz clara, accesible y funcional favorece la comprensión de los contenidos y la continuidad en las actividades de aprendizaje.

La encuesta SUS está compuesta por 10 ítems con una escala tipo Likert de cinco puntos. Este cuestionario alterna afirmaciones positivas e inversas, por lo que su puntaje se calcula de la siguiente manera:

- Para los ítems impares (positivos): se resta 1 al valor seleccionado.
- Para los ítems pares (negativos): se resta el valor seleccionado de 5.
- La suma de estos valores se multiplica por 2.5, obteniendo un puntaje final entre 0 y 100 para cada participante.

Este proceso se aplicó individualmente a los 48 cuestionarios correspondiente a la muestra que utilizó la plataforma web durante la fase. Posteriormente, se realizó un análisis descriptivo de los puntajes globales.

Los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 8 Resultados de la encuesta SUS aplicados a la plataforma web

Métrica	Valor
N (participantes)	48
Puntaje promedio SUS	76.41
Desviación estándar	9.97
Puntaje mínimo	55
Puntaje máximo	95
N (participantes)	48

El puntaje promedio de 76.41 se encuentra dentro del rango considerado como "bueno" según la escala interpretativa del SUS, lo cual indica que la plataforma fue percibida como fácil de usar, intuitiva y bien estructurada por la mayoría de los estudiantes. Este resultado evidencia que la interfaz del sistema facilitó la interacción del usuario con los contenidos, contribuyendo positivamente al proceso de aprendizaje.

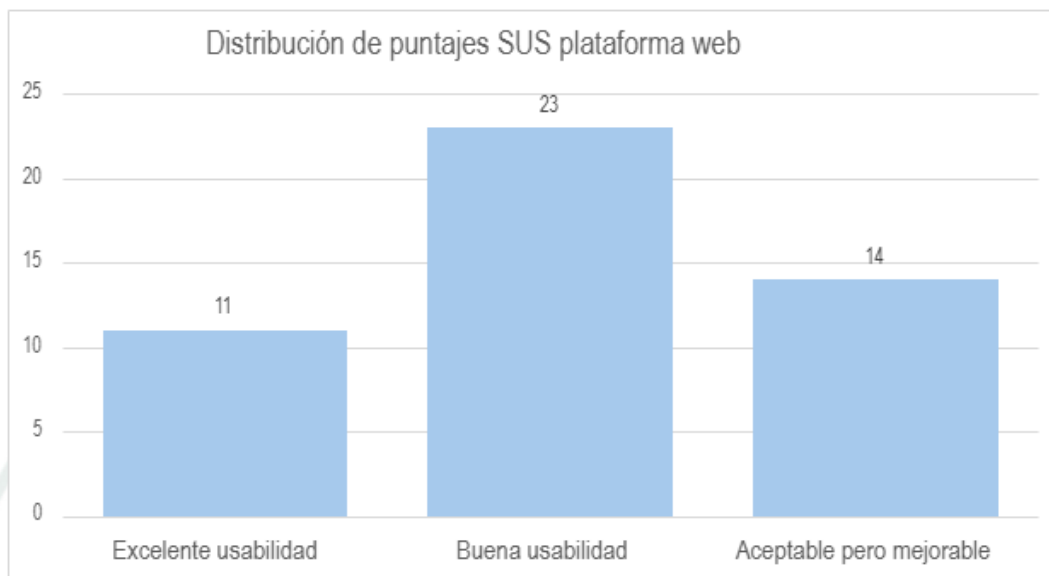
La desviación estándar de 9.97 sugiere una moderada dispersión en las percepciones, con algunos usuarios encontrando una experiencia más favorable que otros, pero sin evidencias de una percepción negativa significativa (puntaje mínimo de 55).

En la Figura 19 se muestra la distribución de los puntajes SUS agrupados por rangos cualitativos de usabilidad, con el propósito de facilitar su interpretación visual. Los resultados se detallan a continuación:

- 11 calificaron la plataforma con un puntaje que indica una excelente usabilidad (puntajes > 85),
- 23 la ubicaron dentro del rango de buena usabilidad (puntajes entre 70 y 85),
- 14 la consideraron aceptable pero mejorable (puntajes entre 50 y 70),
- Ningún participante reportó una experiencia de pobre usabilidad (puntajes menores a 50).

En conjunto, el 71% de los usuarios (34 de 48) valoraron la plataforma con una usabilidad buena o excelente, lo que valida favorablemente su diseño, estructura y funcionalidad. Estos resultados sugieren que la facilidad de uso de la plataforma no solo generó una experiencia positiva de interacción, sino que también favoreció la comprensión y continuidad en las actividades de aprendizaje, reforzando su conexión con la variable de nivel de aprendizaje.

Figura 19 Distribución de puntaje SUS plataforma web



5.1.4.2. Análisis de resultados del modelo TAM

Con el objetivo de evaluar la aceptación del sistema integrado por parte de los estudiantes y su relación con la motivación hacia el curso de Cálculo Diferencial, se aplicó un cuestionario basado en el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM). Este modelo permite analizar dimensiones clave como la percepción de utilidad, la facilidad de uso percibida, la actitud hacia el uso del sistema y la intención futura de uso.

La aceptación tecnológica se considera un factor que influye en la motivación académica, dado que cuando los estudiantes perciben una herramienta como útil, accesible y relevante para su aprendizaje, tienden a mostrar mayor interés, compromiso y disposición para utilizarla en su proceso formativo.

Las respuestas fueron recolectadas mediante una escala tipo Likert de cinco puntos, donde 1 representa un nivel muy bajo de aceptación o acuerdo, y 5 el nivel más alto. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada dimensión del modelo:

Tabla 9 Resultados de la encuesta TAM aplicados al sistema integrado

Dimensión	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Percepción de utilidad	3.93	0.84	1	5
Facilidad de uso percibida	4.23	0.78	1	5
Actitud hacia el uso del sistema	4.16	0.81	2	5
Intención de uso futura	4.35	0.88	1	5

Los resultados evidencian una alta aceptación del sistema integrado por parte de los estudiantes, reflejada en los promedios elevados obtenidos en todas las dimensiones evaluadas. La intención de uso futura alcanzó el valor promedio más alto (4.35), lo que indica una predisposición positiva a seguir utilizando herramientas tecnológicas similares para reforzar contenidos académicos en otros cursos, demostrando una motivación sostenida hacia el aprendizaje apoyado en tecnología.

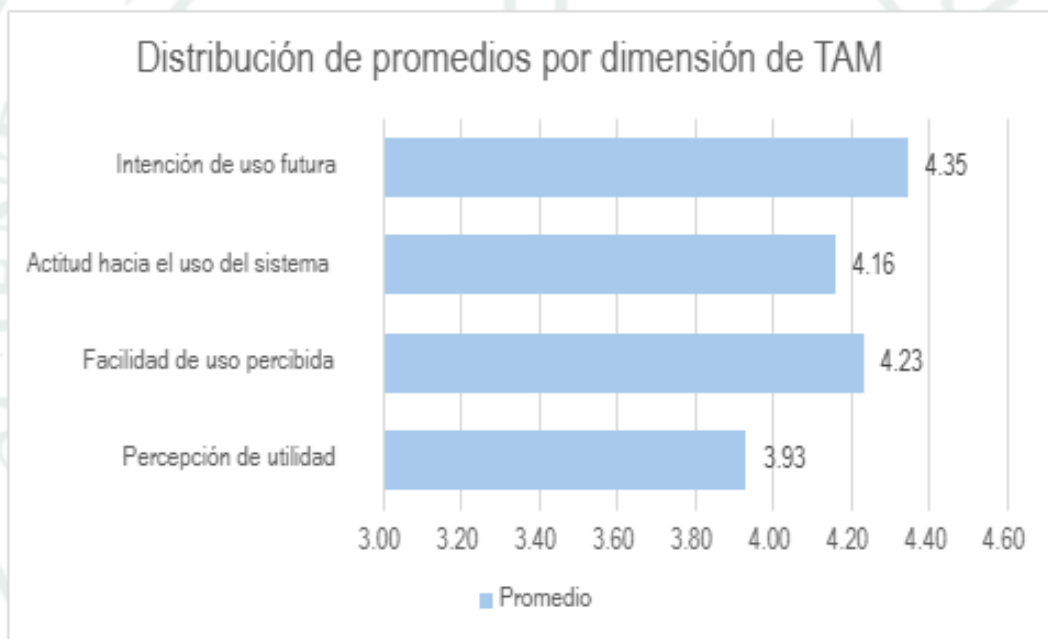
La facilidad de uso percibida obtuvo un promedio de 4.23, lo que sugiere que el sistema fue comprendido con facilidad. Este resultado respalda la idea de que una experiencia de uso intuitiva contribuye a mantener la motivación y el compromiso del estudiante durante el proceso de aprendizaje.

La actitud hacia el uso del sistema, con un promedio de 4.16, refleja una disposición favorable hacia la modalidad de enseñanza apoyada en tecnología, lo que demuestra una apertura de los estudiantes a métodos innovadores que combinan recursos digitales e inteligencia artificial.

Finalmente, la percepción de utilidad obtuvo un promedio de 3.93, lo que indica que los estudiantes reconocen el potencial del sistema para mejorar su comprensión y desempeño académico, comparado con estrategias de enseñanza tradicionales.

En la Figura 20 se presentan los promedios por dimensión, lo que permite visualizar de manera clara la tendencia general positiva y el alto nivel de aceptación y motivación que generó el sistema integrado en los participantes.

Figura 20 *Distribución de promedios por dimensión TAM*



5.2. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la implementación del sistema integrado, conformado por una plataforma web didáctica y un robot tutor interactivo con visión computacional, tuvo un impacto positivo inicial en el proceso de enseñanza-aprendizaje del curso de Cálculo Diferencial, particularmente en las dimensiones de aprendizaje, motivación y aceptación tecnológica.

En relación con la variable nivel de aprendizaje, se evidenció una mejora significativa entre los puntajes del pretest y postest, lo cual sugiere que el sistema contribuyó a la comprensión de los contenidos y al refuerzo de conceptos teóricos. Este resultado puede explicarse por la estructura didáctica de la plataforma, basada en recursos audiovisuales, ejercicios prácticos y retroalimentación inmediata, lo que permitió a los estudiantes interactuar activamente con el contenido.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por (Clark-Wilson et al., 2020), quienes señalan que las plataformas digitales con simulaciones y retroalimentación personalizada mejoran la comprensión en matemáticas. De igual forma, (Barana et al., 2021) destacan que la retroalimentación en tiempo real favorece el desarrollo de habilidades de resolución de problemas en contextos educativos digitales. Asimismo, (Alabdulaziz, 2021) evidencia que el uso de plataformas adaptativas contribuye a mejorar el rendimiento académico en matemáticas, al permitir que los estudiantes aprendan a su propio ritmo.

En este sentido, los resultados obtenidos refuerzan la idea de que el uso de entornos digitales bien diseñados no solo facilita el acceso al contenido, sino que también potencia el aprendizaje significativo en asignaturas de alta abstracción como el Cálculo Diferencial.

En cuanto a la motivación, los resultados del cuestionario MSLQ evidencian niveles favorables en aspectos como el interés, la utilidad percibida y la disposición hacia el uso del sistema. Esto sugiere que la integración de herramientas tecnológicas influyó positivamente en la actitud de los estudiantes hacia la asignatura.

Este comportamiento coincide con lo planteado por (Hilario et al., 2022), quienes demuestran que la incorporación de elementos interactivos y dinámicos en plataformas educativas

incrementa la motivación y el compromiso del estudiante. Asimismo, la presencia del robot tutor como agente de acompañamiento introduce un componente innovador que puede fortalecer el involucramiento emocional del estudiante, lo cual se alinea con lo señalado por (Guggemos et al., 2020), quienes evidencian que la interacción con robots educativos mejora la motivación y la participación en entornos universitarios.

Adicionalmente, estudios como los de (Błażejowska et al., 2023) destacan que el uso de señales afectivas en robots (luces, sonidos o estímulos) puede influir positivamente en la experiencia de aprendizaje, lo cual es coherente con el diseño del robot tutor propuesto en esta investigación.

En relación con la aceptación del sistema, los resultados obtenidos a través del cuestionario SUS indican un nivel favorable de usabilidad, lo que sugiere que la plataforma fue percibida como accesible, fácil de usar e intuitiva por parte de los estudiantes. Estos resultados son consistentes con lo planteado por (Kumar et al., 2021), quienes señalan que la usabilidad es un factor determinante en la adopción de plataformas educativas digitales.

Por otro lado, los resultados del modelo TAM evidencian una percepción positiva en cuanto a la facilidad de uso y la utilidad del sistema, lo cual coincide con lo reportado por (Pham et al., 2021), quienes destacan que la aceptación tecnológica en entornos educativos depende en gran medida de la integración efectiva entre la infraestructura digital y la experiencia del usuario.

En conjunto, estos resultados indican que el sistema no solo es funcional desde el punto de vista técnico, sino también aceptado por los usuarios, lo cual es un factor clave para su implementación en contextos reales.

En cuanto al desempeño técnico, el sistema evidenció un alto nivel de cumplimiento de los requisitos funcionales establecidos. La evaluación técnica del robot tutor, realizada mediante juicio de expertos, confirmó que el prototipo cumple con los requisitos técnico-funcionales mínimos para su operación.

Los resultados muestran que el robot presenta estabilidad en la captura de imagen, consistencia en la detección de atención y una respuesta adecuada del sistema de retroalimentación luminosa, así como una correcta generación de registros de datos para su análisis posterior. Estos aspectos son fundamentales en sistemas que integran visión computacional y monitoreo del comportamiento del usuario.

Estos resultados son coherentes con lo planteado por (Wu et al., 2022), quienes destacan que uno de los principales desafíos en la implementación de robots educativos es garantizar su fiabilidad técnica y facilidad de uso. Asimismo, (Krumins et al., 2024), señalan que la integración de hardware y software en entornos educativos requiere asegurar la estabilidad del sistema, la sincronización de componentes y la calidad de los datos generados.

No obstante, el experto sugiere como mejora la incorporación de mecanismos adicionales para recuperar la atención del usuario, lo cual evidencia oportunidades de optimización en la interacción humano-robot.

Uno de los principales aportes de esta investigación radica en la integración de múltiples tecnologías en un único sistema educativo. A diferencia de estudios previos que abordan de manera aislada el uso de plataformas digitales o robots educativos, esta propuesta combina una plataforma web, un robot tutor físico y técnicas de visión computacional para el monitoreo de la atención.

Este enfoque responde a lo planteado por (Pham et al., 2021), quienes destacan la necesidad de integrar infraestructura física y plataformas digitales para el desarrollo de sistemas educativos inteligentes. Asimismo, se alinea con lo señalado por (González-Oliveras et al., 2025), quienes resaltan el potencial de combinar robots sociales con analítica del aprendizaje para mejorar la personalización educativa.

Además, la incorporación de visión computacional para la detección de la atención se fundamenta en estudios como los de (Chan et al., 2023), quienes demuestran la viabilidad de utilizar modelos de aprendizaje profundo para identificar patrones de comportamiento asociados a la concentración en entornos educativos.

Una de las principales fortalezas del estudio fue la integración efectiva entre componentes de software y hardware, lograda mediante la metodología de Diseño y Desarrollo Tecnológico (DDT) y el uso complementario de SCRUM. Esta combinación permitió obtener un sistema funcional, adaptable y alineado con las necesidades del contexto educativo.

Otra fortaleza importante fue la evaluación integral del sistema, que abarcó tanto los aspectos técnicos como pedagógicos. Al considerar indicadores de aprendizaje, motivación y usabilidad, se logró una visión más completa del efecto de la herramienta en la experiencia de enseñanza-aprendizaje.

Finalmente, la investigación representa un aporte innovador dentro del ámbito de la ingeniería de sistemas educativa, al aplicar conceptos de inteligencia artificial y visión computacional en un entorno de aprendizaje universitario, demostrando la viabilidad de su aplicación en la educación superior.

Sin embargo, el estudio presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, el tamaño reducido de la muestra (48 estudiantes) restringe la generalización de los resultados. Además, el robot tutor no llegó a ser utilizado por los estudiantes, lo que limitó la interacción física directa y, por tanto, la experiencia completa del usuario con el componente robótico.

Asimismo, la investigación se desarrolló en un solo curso y contexto institucional, lo que impide extrapolar los resultados a otras áreas o niveles educativos sin ajustes metodológicos. Finalmente, el diseño cuasi experimental con un solo grupo no permite controlar completamente otras variables externas que pudieron influir en los resultados (por ejemplo, interés previo por la asignatura o nivel de familiaridad tecnológica).

A partir de los resultados obtenidos, se plantean diversas líneas de mejora y continuidad:

- Ampliar la muestra de validación, incluyendo diferentes universidades y contextos educativos, para robustecer la validez externa de los resultados.
- Optimizar el algoritmo de visión computacional, incorporando reconocimiento de emociones y análisis multimodal (voz, gestos, postura) para obtener un diagnóstico más completo de la participación estudiantil.
- Mejorar el prototipo del robot tutor, dotándolo de mayores capacidades de interacción, como movimiento autónomo, mensajes de voz y personalización de la retroalimentación.
- Explorar la gamificación avanzada en la plataforma, integrando mecánicas de recompensas adaptativas que refuercen la motivación y el aprendizaje activo.

- Aplicar técnicas de analítica de aprendizaje (Learning Analytics), aprovechando los datos generados por la plataforma y el robot para desarrollar modelos predictivos del rendimiento y generar recomendaciones personalizadas.

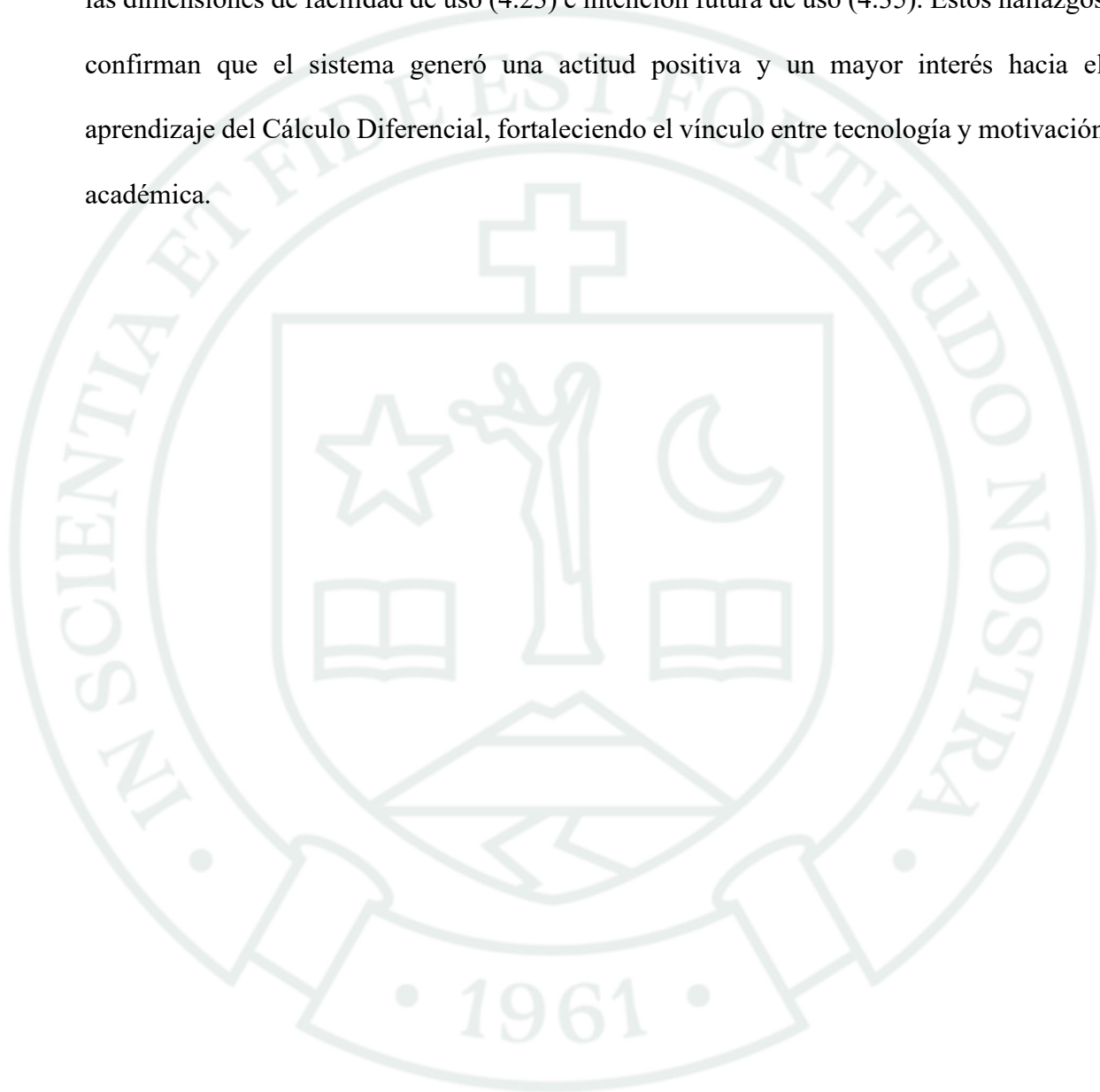


CONCLUSIONES

- PRIMERO. La investigación permitió demostrar la viabilidad técnica, funcional y pedagógica del desarrollo e integración de una plataforma web interactiva y un prototipo de robot tutor con visión computacional como sistema educativo híbrido. El proceso de diseño, construcción e implementación evidenció que es posible sincronizar ambos componentes en tiempo real, garantizando un funcionamiento estable y coherente con los objetivos de enseñanza. Los resultados obtenidos confirmaron la validez de la hipótesis general, al comprobar que la utilización del sistema integrado favoreció el aprendizaje y la motivación de los estudiantes de Ingeniería de Sistemas en la asignatura de Cálculo Diferencial, evidenciando que la aplicación de herramientas de inteligencia artificial y visión computacional puede optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje en entornos universitarios.
- SEGUNDO. El análisis de la primera fase del curso mostró un panorama preocupante: de los 74 estudiantes matriculados, únicamente 48 culminaron el curso, y el promedio general de notas en la primera fase fue de 12.84. Este diagnóstico inicial evidenció un alto nivel de deserción y bajo rendimiento académico, confirmando la necesidad de introducir nuevas estrategias tecnológicas que apoyen el aprendizaje y mantengan la motivación estudiantil.
- TERCERO. La plataforma web fue desarrollada con secciones de contenido estructurado, recursos audiovisuales, ejercicios interactivos con retroalimentación automática y desafíos prácticos. Esta implementación permitió ofrecer un entorno de aprendizaje flexible y dinámico, favoreciendo la comprensión de los temas clave de cálculo diferencial y brindando a los estudiantes herramientas adicionales para reforzar su estudio de manera autónoma.

- CUARTO. El prototipo de robot tutor fue diseñado con base en hardware de bajo costo (Raspberry Pi, cámara USB, LEDs y altavoz) e implementó un algoritmo de visión computacional capaz de identificar el estado de atención del estudiante en tiempo real. El sistema respondió mediante señales luminosas y estímulos motivacionales a través de la música, logrando una interacción efectiva que complementó la experiencia de la plataforma web y permitió registrar automáticamente los estados de atención de los estudiantes. Además, la evaluación realizada por expertos garantizó el funcionamiento técnico correcto de esta herramienta.
- QUINTO. La integración del robot tutor con la plataforma fue lograda exitosamente, permitiendo la sincronización en tiempo real durante la resolución de ejercicios y desafíos. Esta conexión garantizó que el robot pudiera ofrecer retroalimentación inmediata, tanto visual como auditiva, aumentando la interactividad y generando un entorno de aprendizaje más inmersivo para los estudiantes.
- SEXTO. El análisis de los resultados del nivel de aprendizaje evidenció una mejora significativa en los puntajes del postest respecto al pretest, lo que demuestra que el uso de la plataforma web contribuyó a fortalecer la comprensión y aplicación de los contenidos del curso. Asimismo, el puntaje promedio SUS de 76.41 indicó que la plataforma web fue percibida como fácil de usar e intuitiva, lo que facilitó la interacción del estudiante con los materiales didácticos y favoreció un aprendizaje más fluido y autónomo. En conjunto, ambos resultados confirman que la efectividad del sistema no solo depende de los recursos pedagógicos implementados, sino también de su diseño centrado en la experiencia del usuario, que potencia el aprovechamiento académico.

- SÉPTIMO. En relación con la motivación, los resultados del cuestionario MSLQ mostraron niveles altos en las dimensiones de motivación intrínseca, valor del curso y autoeficacia, mientras que el modelo TAM reflejó una aceptación tecnológica elevada, especialmente en las dimensiones de facilidad de uso (4.23) e intención futura de uso (4.35). Estos hallazgos confirman que el sistema generó una actitud positiva y un mayor interés hacia el aprendizaje del Cálculo Diferencial, fortaleciendo el vínculo entre tecnología y motivación académica.



RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aplicar la plataforma y el robot tutor a un grupo más numeroso y diverso de estudiantes, incluyendo distintas carreras y niveles académicos, con el fin de obtener resultados estadísticamente más robustos y generalizables.
2. Es importante evaluar el impacto del sistema durante un ciclo académico completo, lo que permitiría identificar la evolución de la motivación, el aprendizaje y la retención de conocimientos en el tiempo.
3. Se sugiere mejorar el hardware del robot, incorporando sensores adicionales (por ejemplo, de voz o movimiento) y un diseño más ergonómico y amigable que incremente la interacción natural con el estudiante. Asimismo, se recomienda optimizar el algoritmo de visión computacional para incrementar la precisión en la detección de estados de atención y emociones.
4. Un siguiente paso consiste en personalizar el contenido y la retroalimentación en función del rendimiento y la motivación del estudiante, utilizando técnicas de analítica de aprendizaje e inteligencia artificial.
5. Además de la usabilidad y motivación, se recomienda analizar el impacto en la retención de estudiantes, el desarrollo de habilidades metacognitivas y la reducción de la ansiedad académica, dimensiones que mostraron resultados variables en el MSLQ.

REFERENCIAS

- Ackermann, H., Henke, A., Chevalère, J., Yun, H. S., Hafner, V. V., Pinkwart, N., & Lazarides, R. (2025). Physical embodiment and anthropomorphism of AI tutors and their role in student enjoyment and performance. *Npj Science of Learning*, 10(1).
<https://doi.org/10.1038/s41539-024-00293-z>
- Adnan, N., Abdullah, S. N. H. S., Raja Yusof, R. J., Zainal, N. F. A., Qamar, F., & Yadegaridehkordi, E. (2023). A Systematic Literature Review in Robotics Experiential Learning With Computational and Adversarial Thinking. *IEEE Access*, 11(February), 44806–44827. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3249761>
- Alabdulaziz, M. S. (2021). COVID-19 and the use of digital technology in mathematics education. In *Education and Information Technologies* (Vol. 26, Number 6, pp. 7609–7633). <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10602-3>
- Alenezi, A. (2020). The role of e-learning materials in enhancing teaching and learning behaviors. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(1), 48–56. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.1.1338>
- Alruwais, N., & Zakariah, M. (2024). Student Recognition and Activity Monitoring in E-Classes Using Deep Learning in Higher Education. *IEEE Access*, PP, 1.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3354981>
- Álvarez, I., García, S., Baquerizo, G., Solís, J., & Avilés, J. (2023). A new B-Learning methodology for Teaching Differential integral calculus in a school of Engineering. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.761>

- Auccahuasi, W., Santiago, G. B., OréNúñez, E., & Sernaque, F. (2018). Interactive online tool as an instrument for learning mathematics through programming techniques, aimed at high school students. *ACM International Conference Proceeding Series*, 70–76.
<https://doi.org/10.1145/3301551.3301580>
- Baisley, A., & Dean Adams, V. (2019). The effects of calculus I on engineering student persistence. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.18260/1-2--33386>
- Barana, A., Marchisio, M., & Sacchet, M. (2021). Interactive Feedback for Learning Mathematics in a Digital Learning Environment. *Education Sciences*.
- Belser, C. T., Shillingford, M. A., Daire, A. P., Prescod, D. J., & Dagley, M. A. (2018). Factors Influencing Undergraduate Student Retention in STEM Majors: Career Development, Math Ability, and Demographics. *The Professional Counselor*, 8(3), 262–276.
<https://doi.org/10.15241/ctb.8.3.262>
- Bigotte de Almeida, M. E., Queiruga-Dios, A., & Cáceres, M. J. (2021). Differential and integral calculus in first-year engineering students: A diagnosis to understand the failure. *Mathematics*, 9(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/math9010061>
- Błażejowska, G., Gruba, Ł., Indurkha, B., & Gunia, A. (2023). A Study on the Role of Affective Feedback in Robot-Assisted Learning. *Sensors*, 23(3).
<https://doi.org/10.3390/s23031181>
- Bradburn, E. (2002). Short-term Enrollment in Postsecondary Education: Student Background and Institutional differences in Reasons for Early Departure, 1996-98. *Postsecondary Education Descriptive Analysis Reports*. National Center for Education Statistics

(ED), Washington, DC, 202, 502–7334.

<http://filebox.vt.edu/chre/elps/EPI/Perspectives/2003153.pdf>

Chan, X. Y., Connie, T., & Goh, M. K. O. (2023). Facial and Body Gesture Recognition for Determining Student Concentration Level. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(5), 1693–1702.

<https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.5.19035>

Chavez, S. B., Lund, M. I., Martin, A., & Ormeño, E. G. (n.d.). *Modelando Casos de uso basados en el enfoque Iconix/DDT-Diseño guiado por Testing*. Retrieved June 8, 2025, from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/41506>

Chen, X., Cheng, G., Zou, D., Zhong, B., & Xie, H. (2023). Artificial Intelligent Robots for Precision Education. *Technology & Society*, 26(1).

Chovriy, S., Marieiev, D., Tsymbal-Slatvinska, S., Vytrykhovska, O., & Tsybulko, A. (2024). Impact of digital technologies on the quality of higher education. *Eduweb*, 18(4), 265–285. <https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2024.18.04.18>

Clark-Wilson, A., Robutti, O., & Thomas, M. (2020). Teaching with digital technology. *ZDM - Mathematics Education*, 52(7), 1223–1242. <https://doi.org/10.1007/s11858-020-01196-0>

Condori Chambi, B. L. (2015). *Factores que originan la desaprobación en la asignatura de cálculo diferencial según estudiantes del II semestre en los programas profesionales de ingeniería de sistemas e ingeniería mecánica, de la Universidad Católica de Santa María. Arequipa, 2013*. 108.

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/3619>

Del Carmen, L., León, V., César, U., & Trujillo, V. (n.d.). *Pedagogía interactiva y aprendizaje significativo en estudiantes con dificultades socioemocionales: revisión sistemática de la literatura* *Interactive pedagogy and meaningful learning in students with socio-emotional difficulties: a systematic review of the literature*. Retrieved

<https://orcid.org/0000-0002-2660-0691>

Drozdikova-Zaripova, A. R., & Sabirova, E. G. (2020). Usage of digital educational resources in teaching students with application of “Flipped classroom” technology. *Contemporary Educational Technology, 12*(2), 1–13.

<https://doi.org/10.30935/cedtech/8582>

Espinoza-Freire, E. E. (2022). Aprendizaje por descubrimiento Vs aprendizaje tradicional. *Revista Transdisciplinaria de Estudios Sociales y Tecnológicos, 2*(1), 73–81.

Fernandez Sutta, F. U., Tejada Auccacusi, R., Galiano Campo, C., & Ccahua Valle, E. R. (2024). Uso de Tecnologías en matemática y su impacto en la enseñanza. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8*(4), 1004–1029.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12341

Fernández-Batanero, J. M., Montenegro-Rueda, M., Fernández-Cerero, J., & López Meneses, E. (2024). Adoption of the Internet of Things in higher education: opportunities and challenges. *Interactive Technology and Smart Education, 21*(2), 292–307.

<https://doi.org/10.1108/ITSE-01-2023-0025>

González-Oliveras, P., Engwall, O., & Wilde, A. (2025). Social Educational Robotics and Learning Analytics: A Scoping Review of an Emerging Field. In *International Journal*

of Social Robotics (Vol. 17, Number 6, pp. 1113–1128). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s12369-025-01235-4>

Guggemos, J., Seufert, S., & Sonderegger, S. (2020). Humanoid robots in higher education: Evaluating the acceptance of Pepper in the context of an academic writing course using the UTAUT. *British Journal of Educational Technology*, *51*(5), 1864–1883.

<https://doi.org/10.1111/bjet.13006>

Haddad, L., Hanoune, M., & Abdelaziz, E. (2024). *Computer Vision with Deep Learning for Human Activity Recognition: Features Representation* (pp. 41–66).

https://doi.org/10.1007/978-3-031-50300-9_3

Harry, A. (2023). Role of AI in Education. *Interdisciplinary Journal and Humanity*.

<https://injury.pusatpublikasi.id/index.php/in>

Hidalgo, B. G., Rivera, L. A., & Delgadillo, R. S. (2019). Integration of learning management system technology and social networking sites in the e-learning mode: A review and discussion. *Computers in Education Journal*, *10*(2), 1–13.

Hilario, L., Mora, M. C., Montés, N., Romero, P. D., & Barquero, S. (2022). Gamification for Maths and Physics in University Degrees through a Transportation Challenge.

Mathematics, *10*(21). <https://doi.org/10.3390/math10214112>

Hooda, M. (2020). Learning Analytics Lens: Improving Quality of Higher Education.

International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, *8*(5), 1626–1646.

<https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/24852020>

- Hu, B., & Hong, X. (2022). Application of Challenging Learning Based on Human-Computer Interaction under Machine Vision in Vocational Undergraduate Colleges. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4667387>
- Hwang, S., Flavin, E., & Lee, J. E. (2023). Exploring research trends of technology use in mathematics education: A scoping review using topic modeling. *Education and Information Technologies*, 28(8), 10753–10780. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11603-0>
- Ilic, V., Batic, D., Mirkovic, M., Vukmirovic, S., Culibrk, D., Bosakov, G., & Popovic, I. (2021, March 17). Automatic Emotion Detection as a Teaching Aid in Online Knowledge Assessment. *2021 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2021 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH51037.2021.9400699>
- Krumins, D., Schumann, S., Vunder, V., Polluaar, R., Laht, K., Raudmae, R., Aabloo, A., & Kruusamae, K. (2024). Open Remote Web Lab for Learning Robotics and ROS with Physical and Simulated Robots in an Authentic Developer Environment. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1325–1338. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3381858>
- Kumar, A., Krishnamurthi, R., Bhatia, S., Kaushik, K., Ahuja, N. J., Nayyar, A., & Masud, M. (2021). Blended Learning Tools and Practices: A Comprehensive Analysis. *IEEE Access*, 9, 85151–85197. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3085844>
- Kurtz, G., & Kohen-Vacs, D. (2023). Welcome to the University! Students' Orientation Activity Mediated by a Social Robot. *Lecture Notes in Computer Science (Including*

Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics),
14041 LNCS, 350–358. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34550-0_25

Lalian, O. N. (2018). The effects of using video media in mathematics learning on students' cognitive and affective aspects. *AIP Conference Proceedings*, 2019(2018).

<https://doi.org/10.1063/1.5061864>

Li, J., & Wang, R. (2024). Determining the role of innovative teaching practices, sustainable learning, and the adoption of e-learning tools in leveraging academic motivation for students' mental well-being. *BMC Psychology*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40359-024-01639-3>

Lima, C., Bastos, R. C., & Varvakis, G. (2020). DIGITAL LEARNING PLATFORMS: AN INTEGRATIVE REVIEW TO SUPPORT INTERNATIONALIZATION OF HIGHER EDUCATION. *Educação Em Revista*, 36. <https://doi.org/10.1590/0102-4698232826>

López-Díaz, M. T., & Peña, M. (2022). Improving Calculus Curriculum in Engineering Degrees: Implementation of Technological Applications. *Mathematics*, 10(3).

<https://doi.org/10.3390/math10030341>

Luna, A., Talavera, A., & Chong, M. (2018). How to motivate the interest in physics to engineering students without dying in the attempt? *EDUNINE 2018 - 2nd IEEE World Engineering Education Conference: The Role of Professional Associations in Contemporaneous Engineer Careers, Proceedings*, 1–5.

<https://doi.org/10.1109/EDUNINE.2018.8450949>

Malpica Rodriguez, L. N., Cruz Morales, T., & Gálvez Suárez, E. (2022). Calidad educativa en educación superior en tiempo de pandemia por el COVID –19. *Horizontes. Revista*

de Investigación En Ciencias de La Educación, 6(22), 101–107.

<https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v6i22.318>

Mezenceva, O. S., Petrenko, V. I., Tebueva, F., Pavlov, A. S., & Apurin, A. A. (2019).

Developing a concept of available multi-functional modular robot for education and research. *CEUR Workshop Proceedings*, 2494(May), 20–23.

Nelson, C. A., de Haan, M., & Thomas, K. M. (2015). The Development of Object Recognition. *Neuroscience of Cognitive Development*, 18, 107–118.

<https://doi.org/10.1002/9780470939413.ch8>

Oficina de Medición de la Calidad de los Aprendizajes. (2024). *El Perú en PISA 2022*.

Informe nacional de resultados. http://umc.minedu.gob.pe/wp-content/uploads/2024/04/Reporte_de_resultados_PISA_2022_Peru.pdf

Pai, R. Y., Shetty, A., Dinesh, T. K., Shetty, A. D., & Pillai, N. (2024). Effectiveness of social robots as a tutoring and learning companion: a bibliometric analysis. In *Cogent Business and Management* (Vol. 11, Number 1). Cogent OA.

<https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2299075>

Pelletier, K., Robert, J., Muscanell, N., McCormack, M., Reeves, J., Arbino, N., Grajek, S.,

Birdwell, T., Liu, D., Mandernach, J., Moore, A., Porcaro, A., Rutledge, R., & Zimmern, J. (2023). *2023 EDUCAUSE Horizon Report® Teaching and Learning Edition*. <https://www.educause.edu/horizon-report-teaching-and-learning-2023>

Pendidikan, J. D., Pembelajaran, D., Rendratma, W. A., & Setiawan, A. (n.d.). *Designing e-learning for Mobile Application Development Course using Learning Experience*

Design (LXD) method Article Information. Retrieved

<https://journal.umpo.ac.id/index.php/dimensi/index>

- Pepin, B., Biehler, R., & Gueudet, G. (2021). Mathematics in Engineering Education: a Review of the Recent Literature with a View towards Innovative Practices. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 7(2), 163–188. <https://doi.org/10.1007/s40753-021-00139-8>
- Pham, Q. D., Dao, N. N., Nguyen-Thanh, T., Cho, S., & Pham, H. C. (2021). Detachable Web-Based Learning Framework to Overcome Immature ICT Infrastructure Toward Smart Education. *IEEE Access*, 9, 34951–34961. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3062371>
- Ponce, P., López-Orozco, C. F., Reyes, G. E. B., Lopez-Caudana, E., Parra, N. M., & Molina, A. (2022). Use of Robotic Platforms as a Tool to Support STEM and Physical Education in Developed Countries: A Descriptive Analysis. *Sensors*, 22(3). <https://doi.org/10.3390/s22031037>
- Robles-Gómez, A., Tobarra, L., Pastor-Vargas, R., Hernández, R., & Cano, J. (2020). Emulating and evaluating virtual remote laboratories for cybersecurity. *Sensors (Switzerland)*, 20(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/s20113011>
- Russell, S., & Norvig, P. (2022). *Artificial Intelligence A Modern Approach Fourth Edition Global Edition*. Pearson Education.
- Schiavo, F., Campitiello, L., Todino, M. D., & Di Tore, P. A. (2024). Educational Robots, Emotion Recognition and ASD: New Horizon in Special Education. In *Education*

Sciences (Vol. 14, Number 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/educsci14030258>

Souza, A. S. C. de, & Debs, L. (2024). Concepts, innovative technologies, learning approaches and trend topics in education 4.0: A scoping literature review. *Social Sciences and Humanities Open*, 9(November 2023), 100902.

<https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100902>

Stoyanov, S., Glushkova, T., Tabakova-Komsalova, V., Stoyanova-Doycheva, A., Ivanova, V., & Doukovska, L. (2022). Integration of STEM Centers in a Virtual Education Space. *Mathematics*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/math10050744>

Szeliski, R. (2022). *Computer Vision: Algorithms and Applications 2nd Edition*. Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9>

Vera Pisco, D. G., Zambrano Choez, A. del J., & Loor Parraga, A. C. (2023). Desafíos de la educación matemática en estudiantes universitarios. *Revista Peruana de Investigación e Innovación Educativa*, 3(1), e23643. <https://doi.org/10.15381/rpiiedu.v3i1.23643>

Wan, S., Yang, L., Ding, K., & Qiu, D. (2023). Dynamic Gesture Recognition Based on Three-Stream Coordinate Attention Network and Knowledge Distillation. *IEEE Access*, 11, 50547–50559. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3278100>

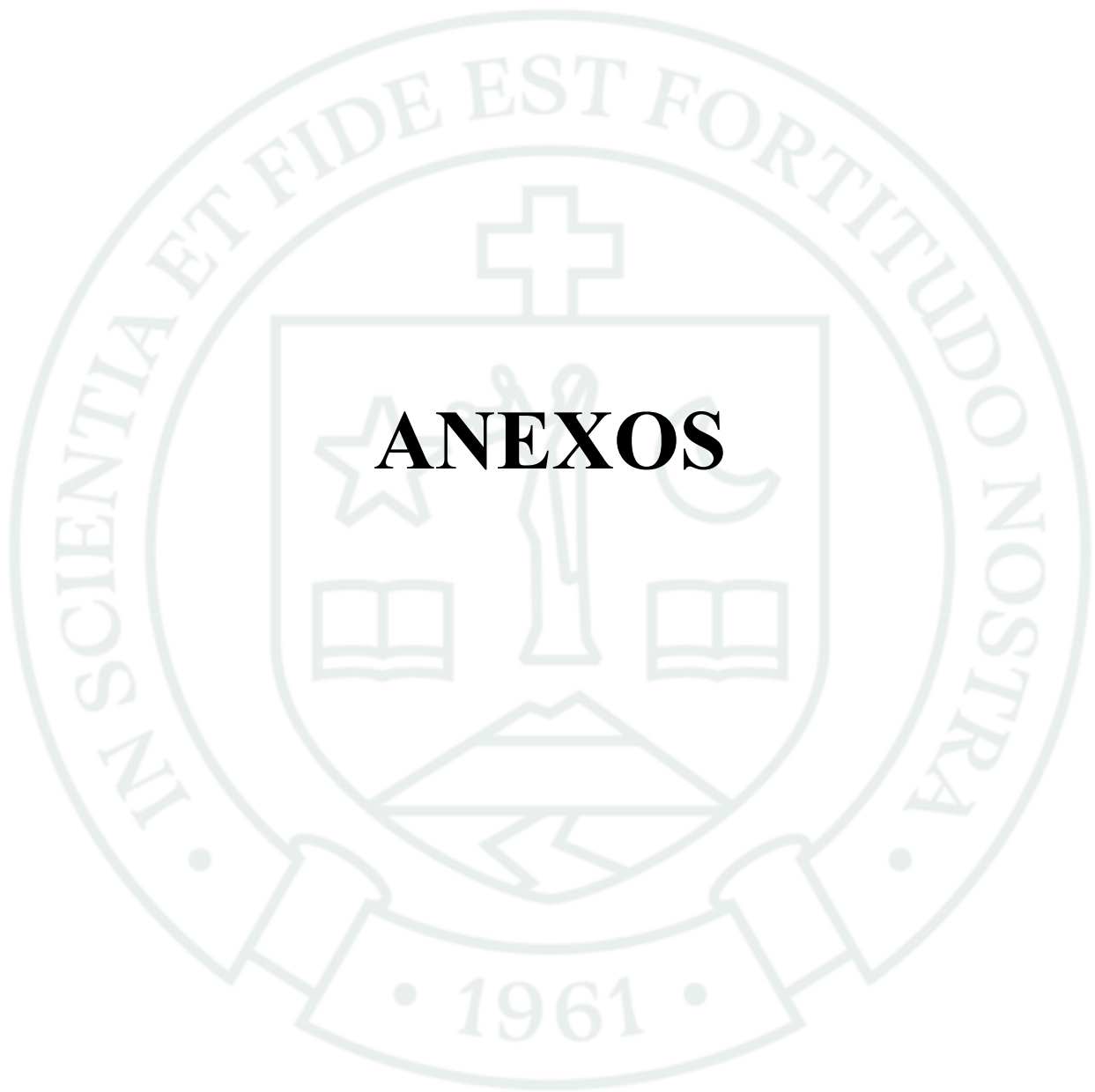
Wang, H., Luo, N., Zhou, T., & Yang, S. (2024). Physical Robots in Education: A Systematic Review Based on the Technological Pedagogical Content Knowledge Framework. *Sustainability (Switzerland)*, 16(12), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su16124987>

- Wu, X., Yoon, M., & Zheng, Q. (2022). Influence of Educational Robots on Learning Performance of Learners Majoring in Computer Science. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 15(5), 133–138. <https://doi.org/10.25103/jestr.155.17>
- Yanapa Zapana, E. Y. (2020). Aplicación de videos tutoriales para mejorar el aprendizaje de límites y derivadas en los estudiantes del II semestre de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Santa María, Arequipa 2018. *Universidad Catolica de Santa Maria*, 1–129. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11180>
- Yenchong Meza Werme Esaud, Rodriguez Saltos Elisa Rafaela, Vallejo Loor Brenda Michelle, & Ponce Solorzano Maria Julieta. (2021). Technological Tools as Didactic Resource for Various Educational Modalities. *International Research Journal of Management, IT & Social Sciences IRJMIS*, 8(1), 9–18. <https://doi.org/10.21744/irjmis.v8n1.1079>
- York, J. W., Stapleton, G., & Sandlow, L. J. (2019). A web-based core curriculum to meet certification and training needs for medical residents. *Online Learning Journal*, 7(2), 96–104. <https://doi.org/10.24059/olj.v7i2.1858>
- Zamora, P., Lozada, A., Buele, J., & Avilés-Castillo, F. (2025). Robotics in higher education and its impact on digital learning. In *Frontiers in Computer Science* (Vol. 7). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2025.1607766>
- Zhang, M., & Somasundram, P. (2025). The Impact of Digital Technologies on Calculus Learning in STEM Education. *Proceedings of the 2025 International Conference on Artificial Intelligence and Educational Systems, ICAIES 2025*, 326–333. <https://doi.org/10.1145/3744367.3744419>

Zhang, X., Chen, Y., Hu, L., Bao, Y., Tu, Y. F., & Hwang, G. J. (2024). A metaphor-based robot programming approach to facilitating young children's computational thinking and positive learning behaviors. *Computers and Education, 215*.

<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105039>





ANEXOS

Anexo A: Requisitos Funcionales y No Funcionales

RF01	Creación de Usuario
Dependencias	-
Precondición	El administrador tiene una lista con los datos de los usuarios (correo, nombre completo, DNI)
Descripción	El administrador tiene la capacidad de crear cuentas de usuario. Para los estudiantes y profesores, se utilizará su correo electrónico y el DNI como primera contraseña para el acceso inicial
Postcondición	Los usuarios tienen sus datos de acceso funcionales y son identificables en el sistema
Prioridad	Alta
RF02	Autenticación de Usuario
Dependencias	RF01
Precondición	El administrador debe haber creado los usuarios en la base de datos. El usuario debe haber recibido sus credenciales de acceso iniciales
Descripción	El sistema debe permitir que los usuarios (estudiantes, profesores, administradores) se autenticquen mediante un inicio de sesión seguro. Los usuarios deben ingresar su correo electrónico y su contraseña, que inicialmente será su DNI, para acceder a la plataforma
Postcondición	El usuario está autenticado y puede acceder a las funcionalidades permitidas según su rol
Prioridad	Alta
RF03	Usuario estudiante
Dependencias	RF01 RF02
Precondición	El estudiante debe estar autenticado en el sistema.
Descripción	El usuario con rol de estudiante puede acceder a los temas habilitados de la plataforma. Esto incluye los videos, ejercicios y desafíos.
Postcondición	El estudiante tiene acceso a las actividades dentro de la plataforma.
Prioridad	Media
RF04	Contenido por Temas
Dependencias	-
Precondición	El administrador debe tener acceso a la base de datos
Descripción	El contenido educativo debe organizarse por temas de acuerdo con el sílabo del curso. Cada tema incluye videos, ejercicios y desafíos relacionados. El administrador se encarga de subir los temas bajo comandos SQL.
Postcondición	Los contenidos están organizados por temas de acuerdo con el sílabo, y son accesibles por los estudiantes.
Prioridad	Media

RF05	Acceso a Videos
Dependencias	RF04
Precondición	Los videos educativos deben haber sido subidos por el administrador y asociados a un tema.
Descripción	Los estudiantes tendrán acceso a los videos educativos grabados por el docente en cualquier momento. Los videos estarán disponibles para consulta y revisión tantas veces como sea necesario.
Postcondición	El estudiante ha visualizado el video del tema
Prioridad	Alta
RF06	Acceso a Ejercicios
Dependencias	RF04, RF05
Precondición	Los videos educativos deben haber sido visualizados por los estudiantes, y los ejercicios deben estar disponibles en el tema correspondiente.
Descripción	Los estudiantes podrán realizar ejercicios prácticos después de haber visto los videos relacionados. Los ejercicios estarán alineados con el contenido presentado en los videos.
Postcondición	El estudiante ha completado los ejercicios del tema, y sus respuestas están registradas.
Prioridad	Alta
RF07	Retroalimentación por Ejercicio
Dependencias	RF07
Precondición	El estudiante debe haber accedido a los ejercicios de un tema.
Descripción	Al hacer un ejercicio, el sistema proporciona retroalimentación en caso de errores, señalando el momento exacto del video relacionado con la parte del ejercicio que no fue correctamente resuelta.
Postcondición	El estudiante ha recibido retroalimentación sobre los errores cometidos y tiene la opción de revisar el material relevante
Prioridad	Media
RF08	Desafíos
Dependencias	RF04
Precondición	El docente ha creado desafíos asociados a los temas del sílabo. El administrador ha subido los desafíos. El estudiante ha completado el video y ejercicios.
Descripción	Los desafíos son ejercicios sin paso a paso, al colocar la respuesta si esta es incorrecta se muestra un video del docente explicando el ejercicio.
Postcondición	El estudiante ha completado el desafío, y su nota ha sido registrada.
Prioridad	Baja

RFR01	Vinculación a sesión por ID
Dependencias	-
Precondición	Robot encendido y con conexión a la red estable.
Descripción	El robot recibe un ID de sesión enviado por la plataforma y se asocia a este.
Postcondición	El robot queda vinculado a la sesión y listo para recibir los eventos del sistema para activar su funcionalidad.
Prioridad	Alta
RFR02	Monitoreo de atención
Dependencias	RF01
Precondición	Sesión vinculada y eventos enviados de la plataforma para iniciar el modo de monitoreo.
Descripción	El robot activa el módulo de visión computacional para detectar el estado del estudiante (Atento o Distráido).
Postcondición	El robot empieza a almacenar los eventos de atención en tiempo real.
Prioridad	Alta
RFR03	Indicador luminoso de atención
Dependencias	RF02
Precondición	Estado de atención o distracción detectado por el robot.
Descripción	El robot enciende un LED verde si el estudiante está Atento y un LED rojo si está Distráido.
Postcondición	El LED refleja el estado del estudiante.
Prioridad	Alta
RFR04	Registro de eventos
Dependencias	RF02
Precondición	Sesión de monitoreo en ejecución.
Descripción	El robot almacena en un archivo excel la hora, estado de atención y duración de cada cambio detectado.
Postcondición	Al final de la sesión, se cuenta con un registro completo de la atención del estudiante.
Prioridad	Alta

RFR05	Finalización del monitoreo
Dependencias	RF02
Precondición	El estudiante sale de la sección de ejercicios o se cierra la sesión.
Descripción	La plataforma envía el evento de salida de la sesión, el robot desactiva el módulo de visión computacional y finaliza el registro de eventos y de los leds.
Postcondición	El monitoreo queda apagado y los datos almacenados listos para su exportación.
Prioridad	Alta

RFR06	Reproducción de música en modo desafío
Dependencias	RF01
Precondición	Sesión vinculada y evento de la plataforma emitido para iniciar modo desafío.
Descripción	El robot reproduce música instrumental para favorecer la concentración mientras el estudiante resuelve el desafío.
Postcondición	La música se detiene automáticamente al enviar la respuesta o salir de la sección.
Prioridad	Media

Anexo B: Encuesta SUS

Pregunta

1. En general, creo que usaría este sistema con frecuencia.
 2. Considero que este sistema es innecesariamente complejo.
 3. Pienso que este sistema es fácil de usar.
 4. Creo que necesitaría la ayuda de alguien con conocimientos técnicos para poder utilizar este sistema.
 5. Siento que las distintas funciones del sistema (videos, ejercicios, robot tutor, música, luces) están bien integradas entre sí.
 6. Me parece que hay mucha inconsistencia en el funcionamiento del sistema.
 7. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar este sistema muy rápidamente.
 8. Considero que el sistema es complicado de utilizar.
 9. Me sentí seguro(a) y cómodo(a) usando el sistema.
 10. Pienso que necesitaría practicar bastante antes de poder usar este sistema con confianza.
-



Anexo C: Encuesta TAM

Área	Pregunta
Percepción de utilidad	<p>El uso de la plataforma web me ayudó a comprender mejor los temas de Cálculo Diferencial.</p> <p>Considero que la interacción con el robot tutor mejoraría mi concentración durante los ejercicios.</p> <p>Considero que el sistema completo (plataforma y robot) puede facilitar mi aprendizaje en comparación con métodos tradicionales</p> <p>El sistema me permitirá avanzar en los temas de forma más efectiva.</p> <p>El acompañamiento del robot me ayudaría a mantener el ritmo durante las actividades.</p>
Facilidad de uso percibida	<p>La plataforma web me parece fácil de usar desde el primer momento.</p> <p>Interactuar con el robot tutor me parece simple y comprensible.</p> <p>No creo tener dificultades técnicas para completar las actividades propuestas.</p> <p>El sistema me parece intuitivo en su funcionamiento.</p> <p>Me siento cómodo(a) navegando y utilizando ambas partes del sistema.</p>
Actitud hacia el uso del sistema	<p>Me gustaría utilizar esta combinación de plataforma web y robot tutor para aprender.</p> <p>Me parece interesante aprender con una herramienta tecnológica interactiva.</p> <p>Usar el sistema es una experiencia positiva.</p> <p>Me siento motivado(a) a continuar usando este tipo de tecnologías en el curso.</p>
Intención de uso futura	<p>Me gustaría volver a usar esta herramienta para reforzar otros temas del curso.</p> <p>Recomendaría el uso de esta tecnología a otros estudiantes.</p> <p>Usaría una herramienta similar si estuviera disponible en otros cursos.</p>

Anexo D: Cuestionario de Estrategias Motivadas para el aprendizaje

Pregunta
1. Estoy motivado para aprender cálculo diferencial porque me interesa el tema.
2. Me esfuerzo en este curso porque disfruto aprender nuevos conceptos de cálculo diferencial.
3. Me siento impulsado a aprender porque disfruto el proceso de adquirir conocimiento.
4. Estoy interesado en este curso más allá de las calificaciones o reconocimientos.
5. Quiero tener éxito en este curso para demostrarme a mí mismo que puedo lograrlo.
6. Estudio cálculo diferencial porque quiero obtener una buena calificación.
7. Estudio cálculo diferencial porque me da una sensación de logro personal.
8. Aprecio las recompensas externas (como reconocimientos o calificaciones) por mi esfuerzo.
9. Creo que lo que aprendo en este curso será útil en mi vida profesional.
10. Encuentro valiosa la retroalimentación que recibo en este curso.
11. Estoy seguro de que puedo comprender los temas de cálculo diferencial si me esfuerzo lo suficiente.
12. Creo que puedo resolver los problemas más difíciles de cálculo diferencial.
13. Me siento preparado para afrontar los desafíos de este curso.
14. Tengo la confianza de que puedo cumplir con los objetivos del curso.
15. Me siento nervioso cuando pienso en los exámenes de cálculo diferencial.
16. La posibilidad de no entender los temas de cálculo diferencial me preocupa.
17. Siento ansiedad cuando no entiendo algo rápidamente en este curso.
18. Cuando aprendo algo nuevo, trato de relacionarlo con lo que ya sé sobre cálculo diferencial.
19. Uso ejemplos concretos para ayudarme a entender mejor los conceptos.
20. Explico los temas de cálculo diferencial a otras personas para reforzar mi comprensión.
21. Hago esquemas o diagramas para organizar la información que aprendo.
22. Identifico las ideas principales de las lecciones de cálculo diferencial.
23. Ordeno mis apuntes para que sean más claras y útiles durante el estudio.
24. Repito conceptos clave del curso para reforzar mi memoria.
25. Reviso las tareas y exámenes anteriores para preparar los próximos.
26. Uso tarjetas o resúmenes para estudiar los temas más importantes.
27. Me pregunto si estoy entendiendo correctamente el material mientras estudio.
28. Ajusto mi enfoque de estudio cuando siento que no estoy aprendiendo bien.
29. Reflexiono sobre mi rendimiento después de completar una tarea o examen.
30. Administro mi tiempo de estudio de manera eficiente para cumplir con los plazos.
31. Divido el material del curso en partes más pequeñas para estudiarlo mejor.
32. Trabajo continuamente en mis tareas, incluso cuando son difíciles.
33. Me aseguro de estudiar en un lugar sin distracciones.
34. Busco los recursos necesarios para comprender mejor los temas del curso.
35. Si tengo problemas para entender algo, busco ayuda inmediatamente.
36. Presto atención a las explicaciones del docente y las lecciones de la plataforma.
37. Participo activamente durante las sesiones de clase.
38. Hago preguntas cuando no entiendo algo durante las sesiones de clase.
39. Trabajo en conjunto con mis compañeros para resolver problemas de cálculo diferencial.
40. Comparto mis ideas y estrategias de estudio con los demás estudiantes.

Anexo E: Ficha de Evaluación Técnica por Expertos

FICHA DE VALIDACIÓN DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ESPECIALISTA EN SISTEMAS / ROBÓTICA

Instrumento: Checklist de Evaluación Técnica del Robot Tutor Interactivo

Proyecto: Desarrollo e integración de plataforma web interactiva y prototipo de robot tutor para el aprendizaje de cálculo diferencial en estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la UCSM

1. Datos generales

Instrumento a validar: Checklist de Evaluación Técnica del Robot Tutor Interactivo

Fecha:

2. Datos del experto/a validador/a

Nombre y apellidos: Marisol Galarza Flores

Profesión: Ingeniera de Sistemas

Grado académico: Ingeniera de Sistemas

Institución: Universidad Nacional de San Agustín

Área de especialidad: Sistemas / Robótica

3. Propósito de la validación

La presente ficha tiene como objetivo recoger la valoración experta sobre la calidad de construcción del instrumento técnico, considerando la claridad, coherencia, relevancia y suficiencia de sus ítems para el alcance del estudio piloto.

4. Instrucciones

Evalúe cada ítem según los criterios siguientes:

Claridad: redacción comprensible y sin ambigüedades.

Coherencia: el ítem se ajusta al objetivo técnico del instrumento.

Relevancia: el ítem es importante para verificar el funcionamiento del robot.

Suficiencia: el conjunto de ítems técnicos cubre adecuadamente los requisitos mínimos del prototipo.

Escala por criterio:

1 = Adecuado 0 = Requiere ajuste

En caso de marcar 0, proponga una mejora concreta.

5. Matriz de validación de ítems técnicos

N.º	Ítem	Claridad (1/0)	Coherencia (1/0)	Relevancia (1/0)	Suficiencia (1/0)	Observaciones/ Sugerencias
1	La organización interna del hardware dentro de la carcasa es ordenada y segura, sin claves sueltas ni componentes expuestos que puedan comprometer la estabilidad o el funcionamiento del robot	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	
2	La cámara USB proporciona una captura de imagen estable, con resolución y fluidez suficientes para el procesamiento de la atención en tiempo real, sin interrupciones o cortes frecuentes durante las pruebas realizadas.	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1X <input type="checkbox"/> 0	Incluir las condiciones mínimas de iluminación
3	El indicador luminoso del robot (luz que se enciende cuando el estudiante está atento y se apaga cuando se distrae) se activa y desactiva de manera oportuna y consistente con los estados de atención, sin desfases apreciables respecto al comportamiento detectado.	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1X <input type="checkbox"/> 0	Indicar el tiempo máximo aceptable de respuesta
4	En condiciones típicas de uso (distancia habitual entre estudiante y cámara e iluminación, ambiente), el sistema detecta y mantiene el rostro del usuario de forma consistente durante la sesión, con pérdidas de detección poco frecuentes.	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	
5	En condiciones típicas de uso (distancia habitual entre estudiante y cámara e iluminación ambiente), el sistema diferencia de forma consistente los estados de atención y distracción del usuario, de acuerdo con el	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	

	comportamiento observable durante las pruebas.					
6	Los archivos de registro (por ejemplo, CSV o Excel) se generan automáticamente por sesión, con una estructura coherente y sin pérdida aparente de datos relevantes para el análisis de la atención.	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1X <input type="checkbox"/> 0	Indicar los datos que se consideran relevantes

6. Valoración global del instrumento técnico

- El instrumento técnico es adecuado para el alcance del estudio piloto. X El instrumento técnico requiere ajustes menores.
- El instrumento técnico requiere ajustes sustanciales.

7. Observaciones generales del experto/a

8. Conformidad

Declaro haber revisado el instrumento técnico señalado.



Firma del experto/a: _____ Fecha: 07/01/2026

Anexo F: Ficha de Evaluación Validada por Expertos

CHECKLIST DE JUICIO DE EXPERTOS ESPECIALISTA EN SISTEMAS / ROBÓTICA Evaluación Técnica del Robot

Tutor Interactivo

Proyecto: Desarrollo e integración de plataforma web interactiva y prototipo de robot tutor para el aprendizaje de cálculo diferencial en estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la UCSM

1. Datos generales

Instrumento: Checklist de evaluación técnica del robot tutor interactivo

Fecha: 13/02/2026

2. Datos del experto/a

Nombre y apellidos: Jaime Enrique Villegas Medina

Profesión: Ing. Mecatrónico

Grado académico: Maestro

Institución: Universidad Católica de Santa María

Área de especialidad: Sistemas / Robótica

3. Instrucciones para la evaluación

El presente instrumento tiene como finalidad evaluar el desempeño técnico-funcional del prototipo del robot tutor. La valoración se realizará en función de la evidencia funcional presentada.

4. Escala de evaluación

- **Sí** = Cumple lo observado en la evidencia funcional.
- **No** = No cumple o cumple de forma insuficiente.

5. Matriz de evaluación técnica

Nº	Ítem técnico-funcional	Sí	No	Observaciones
1	La organización interna del hardware dentro de la carcasa es ordenada y segura, sin cables sueltos ni componentes expuestos que puedan comprometer la estabilidad o el funcionamiento del robot.	X		
2	La cámara USB proporciona una captura de imagen estable, con resolución y fluidez suficientes para el procesamiento de la atención en tiempo real, en condiciones de iluminación ambiente adecuada, sin interrupciones o cortes frecuentes durante las pruebas realizadas.	X		
3	El indicador luminoso del robot (luz que se enciende cuando el estudiante está atento y se apaga cuando se distrae) se activa y desactiva de manera consistente con los estados de atención, con un tiempo de respuesta prácticamente inmediato y sin retardos perceptibles para el usuario durante las pruebas realizadas.	X		
4	En condiciones típicas de uso (distancia habitual entre estudiante y cámara e iluminación ambiente), el sistema detecta y mantiene el rostro del usuario de forma consistente durante la sesión, con pérdidas de detección poco frecuentes.	X		

5	En condiciones típicas de uso (distancia habitual entre estudiante y cámara e iluminación ambiente), el sistema diferencia de forma consistente los estados de atención y distracción del usuario, de acuerdo con el comportamiento observable durante las pruebas.	X		
6	El sistema genera archivos de registro (CSV/Excel) que almacenan correctamente los tiempos de inicio, fin, duración (en segundos) y el estado del usuario (atento/distraído), manteniendo una estructura clara y consistente para su posterior análisis.	X		

6. Comentarios generales del experto/a

Una idea interesante, quizás como un tema de mejora se podría agregar algún adicional para devolver la atención a la computadora al usuario, no solo algo sonoro sino quizás algún medio de contacto.

7. Conclusión técnica

X El robot cumple los requisitos técnico-funcionales mínimos.

El robot requiere ajustes técnicos menores.

El robot requiere ajustes técnicos sustanciales antes de su implementación.

Firma del experto/a:



Fecha: 13/02/2026