

Mejorando la accesibilidad en el bachillerato virtual: rediseño de cursos de Mecánica con inteligencia artificial

Enhancing accessibility in virtual high school: redesigning Mechanics courses with Artificial Intelligence

José Manuel Mendoza Román*
 Universidad Autónoma de Sinaloa, México
<https://orcid.org/0000-0001-9943-6709>

José Alberto Alvarado Lemus**
 Universidad Autónoma de Sinaloa, México
<https://orcid.org/0000-0002-7222-2281>

Jesús Ernesto Duarte Gastélum***
 Universidad Autónoma de Sinaloa, México
<https://orcid.org/0000-0002-3166-4198>

Recepción del artículo: 22/01/2025 | Aceptación para publicación: 07/05/2025 | Publicación: 30/09/2025

RESUMEN

La accesibilidad en la educación en línea presenta retos importantes, especialmente en cursos técnicos como Mecánica. Este estudio analiza un enfoque de accesibilidad apoyado por inteligencia artificial (IA) en los cursos de Mecánica I y II del Bachillerato Virtual de la Universidad Autónoma de Sinaloa, impartidos en Moodle. A través de un estudio de caso que utilizó el Kit de Accesibilidad de Brickfield, entrevistas a estudiantes y un diario de campo, se identificaron barreras en contenidos matemáticos y visuales. Los resultados evidencian que las herramientas de IA pueden mejorar significativamente la accesibilidad, especialmente en la comprensión de ecuaciones y gráficos. La implementación de estas soluciones mejoró la experiencia de aprendizaje, destacando la importancia de integrar IA en el diseño de cursos en línea. Este enfoque proactivo hacia la accesibilidad no solo beneficia a estudiantes con discapacidades, sino que también mejora la experiencia educativa para todos. Se propone un marco para aplicar soluciones basadas en IA en cursos técnicos, subrayando su potencial para crear entornos de aprendizaje más inclusivos. Este estudio tiene implicaciones prácticas al demostrar cómo la IA puede transformar la educación en línea, haciendo los cursos más accesibles y efectivos.

ABSTRACT

Accessibility in online education poses significant challenges, particularly in technical courses such as Mechanics. This study examines an accessibility approach supported by artificial intelligence (AI) in the Mechanics I and II courses of the Virtual High School at the Autonomous University of Sinaloa, offered on Moodle. Through a case study utilizing the Brickfield Accessibility Toolkit, student interviews, and a field journal, barriers in mathematical and visual content were identified. The results show that AI tools can significantly enhance accessibility, particularly in the understanding of equations and graphs. The implementation of these solutions improved the learning experience, highlighting the importance of integrating AI into the design of online courses. This proactive approach to accessibility not only benefits students with disabilities but also enhances the educational experience for all learners. A framework is proposed to apply AI-based solutions in technical courses, underscoring their potential to create more inclusive learning environments. This study has practical implications by demonstrating how AI can transform online education, making courses more accessible and effective.



Palabras clave

Accesibilidad web; educación en línea; inclusión educativa; inteligencia artificial; mecánica; Moodle



Keywords

Web accessibility; Online education; Educational inclusion; Artificial Intelligence; Mechanics; Moodle

SOBRE LOS AUTORES

* Doctor en Tecnología de la Información y Comunicación por el Instituto Mexicano de Actualización y Posgrado. Profesor de asignatura en la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9943-6709>, correo electrónico: manuelmendoza@uas.edu.mx

** Doctor en Pedagogía por el Centro de Investigación e Innovación Educativa del Noroeste. Profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7222-2281>, correo electrónico: lemus65@uas.edu.mx

*** Doctor en Tecnología Educativa por el Centro Universitario Mar de Cortés. Profesor de asignatura en la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3166-4198>, correo electrónico: ernesto.duarte@uas.edu.mx

INTRODUCCIÓN

La educación en línea ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsado por avances tecnológicos y cambios en las demandas educativas globales; sin embargo, este auge ha puesto de manifiesto la necesidad de garantizar la accesibilidad para todos los estudiantes, independientemente de sus capacidades físicas o cognitivas. En este contexto, la accesibilidad web se ha convertido en un aspecto para asegurar la igualdad de oportunidades en el aprendizaje digital.

Los cursos de Mecánica, por su naturaleza científica y su dependencia de representaciones visuales y ecuaciones complejas, presentan desafíos particulares en términos de accesibilidad. Ali *et al.* (2024) señalan que el problema no reside únicamente en el *software* del lector de pantalla, sino también en la autoría y el formato del contenido educativo digital. Si el material original no se crea teniendo en cuenta la accesibilidad, incluso el lector de pantalla más avanzado tendrá dificultades. Esta problemática se intensifica en las asignaturas de Mecánica, donde las barreras técnicas se suman a las pedagógicas: la comprensión de

conceptos abstractos como vectores, aceleración o fuerzas requiere representaciones que tradicionalmente han privilegiado canales visuales.

La inteligencia artificial (IA) emerge como una herramienta prometedora para abordar estos desafíos. Un estudio reciente de Huang *et al.* (2024) sugiere que “aprovechando la información sobre errores de accesibilidad, los modelos de lenguaje grande (LLM) y las técnicas de ingeniería rápida, se puede lograr una reducción significativa en los errores de infracción de accesibilidad” (p. 1). Esto indica que la IA puede desempeñar un papel en la identificación y corrección de barreras de accesibilidad en entornos de aprendizaje en línea.

El presente estudio se centra en la aplicación de un enfoque de accesibilidad con apoyo de IA en los cursos de Mecánica I y Mecánica II impartidos en la plataforma Moodle. Los objetivos principales de esta investigación son: 1) identificar las barreras de accesibilidad mediante un diagnóstico exhaustivo, 2) evaluar los niveles de conformidad con las directrices de accesibilidad web en Moodle, 3) explorar el uso de herramientas de IA generativa para mejorar la accesibilidad y 4) analizar las experiencias de los estudiantes tras la implementación de soluciones de accesibilidad.

Los tres principios del DUA comprenden el proporcionar múltiples formas de representación, múltiples formas de acción y expresión, así como múltiples formas de implicación; se corresponden con las redes neuronales que sustentan el aprendizaje

Este enfoque no solo busca mejorar la accesibilidad para estudiantes con discapacidades, sino que también aspira a enriquecer la experiencia de aprendizaje para todos los usuarios. Romero y Torres (2021) argumentan que “el diseño accesible beneficia a todos los usuarios, independientemente de sus capacidades, al mejorar la usabilidad general y la experiencia de usuario” (p. 3).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL DUA Y SU VINCULACIÓN CON LA PRÁCTICA PEDAGÓGICA

El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) constituye un marco teórico-práctico fundamentado en la neurociencia cognitiva, que reconoce la diversidad neurológica como una realidad inherente a todo contexto educativo. Este paradigma, lejos de ser una metodología aislada, emerge como respuesta a la creciente evidencia científica que descarta la existencia del “estudiante promedio” (Avellán-Zam-

brano y Alcívar-Pincay, 2024), proponiendo entornos de aprendizaje flexibles desde su concepción inicial.

Los tres principios del DUA comprenden el proporcionar múltiples formas de representación, múltiples formas de acción y expresión, así como múltiples formas de implicación; se corresponden con las redes neuronales que sustentan el aprendizaje: la red de reconocimiento (el *qué* del aprendizaje), la red estratégica (el *cómo* del aprendizaje) y la red afectiva (el *porqué* del aprendizaje), respectivamente (Meyer *et al.*, 2014). Esta arquitectura conceptual establece puentes con otras teorías influyentes como el constructivismo social de Vygotsky, el aprendizaje significativo de Ausubel y los aportes recientes de la neuroeducación sobre plasticidad cerebral y variabilidad en el aprendizaje (Sánchez-Serrano, 2022).

La aplicación práctica del DUA en entornos virtuales requiere un mapeo sistemático entre herramientas tecnológicas y principios pedagógicos. Por ejemplo, los asistentes de voz para estudiantes con dislexia no solo mejoran la accesibilidad inmediata, sino que implementan el principio de múltiples representaciones mientras reducen significativamente los errores semánticos (Rigcha *et al.*, 2024). En el ámbito de la acción y expresión, las evaluaciones multimodales mediante producciones digitales diversas (como pódcast, infografías o simulaciones) trascienden el aspecto técnico para constituirse en mecanismos de evaluación auténtica que respetan la diversidad cognitiva (Granda y Herrero, 2022). Respecto al compromiso, la integración de metodologías activas con tecnologías inmersivas genera entornos donde la motivación intrínseca y la autorregulación se potencian mutuamente (Merino-Fernández *et al.*, 2023).

Las implicaciones pedagógicas del DUA son multidimensionales y exigen reconsiderar conceptos fundamentales como currículo, evaluación y barreras para el aprendizaje. Un currículo DUA no es simplemente “accesible” en términos técnicos, sino transformador en su esencia, reconociendo la diversidad como valor y no como problema (Pin *et al.*, 2024). La evaluación, bajo este paradigma, evoluciona desde la verificación estandarizada hacia un proceso continuo de retroalimentación formativa que celebra múltiples formas de demostrar el conocimiento.

El análisis de evidencia reciente revela, sin embargo, que la implementación efectiva del DUA enfrenta desafíos significativos en tres niveles: 1) la insuficiente formación docente específica en

principios neurocognitivos que sustentan el DUA, 2) la escasez de recursos pedagógicos diseñados nativamente bajo estos principios y 3) la limitada articulación entre políticas educativas inclusivas y prácticas institucionales concretas (Gallegos, 2022). Estos hallazgos subrayan la necesidad de abordar la accesibilidad no como un conjunto de ajustes técnicos posteriores, sino como un elemento consustancial al diseño educativo desde sus cimientos.

Los cursos de Mecánica I y II han sido estructurados para la accesibilidad y la inclusión educativa. Este diseño meticuloso resulta en un “mapeo” con los tres principios del DUA, sin que el mapeo sea la meta primordial (ver tabla 1), sino el resultado de aplicar una metodología de diseño instruccional de accesibilidad web e inclusiva desde el inicio.

Tabla 1. Mapeo de cursos de Mecánica con los principios del DUA

I. Proporcionar múltiples medios de representación (el qué del aprendizaje)		
Este principio se centra en ofrecer la información y el contenido de diversas maneras para que los estudiantes comprendan lo que se les enseña, sin importar sus preferencias o necesidades de aprendizaje		
Información multimodal	Apoyo lingüístico y simbólico	Ajuste de complejidad
<ul style="list-style-type: none"> - Libro <i>Mecánica I</i> y <i>Guía de Mecánica I</i>: presentan contenido en formato de texto, enriquecido con imágenes, diagramas y ejemplos resueltos, lo que beneficia a lectores visuales y aquellos que prefieren aprender a través de la lectura - Simuladores virtuales (PHET): utilizados en las actividades 6, 13, 21 y 29, ofrecen una representación visual e interactiva de los conceptos de física, permitiendo la exploración y experimentación. (La mención de sus características de accesibilidad es clave) - Videos explicativos: proporcionan información auditiva y visual, siendo beneficiosos para estudiantes con diferentes estilos de aprendizaje. Es fundamental asegurar que incluyan subtítulos y otras características de accesibilidad para maximizar su impacto 	<ul style="list-style-type: none"> - Glosarios: ayudan a la comprensión del lenguaje y símbolos específicos de la física, ofreciendo definiciones y representaciones visuales que clarifican el vocabulario técnico 	<ul style="list-style-type: none"> - Ejercicios de repaso con diferentes niveles de dificultad (actividades 3, 10, 18 y 26): permiten a los estudiantes abordar los conceptos desde su nivel de comprensión previa, facilitando el andamiaje y la progresión

II. Proporcionar múltiples medios de acción y expresión (el *cómo* del aprendizaje)

Este principio se enfoca en ofrecer diversas formas para que los estudiantes interactúen con el material y demuestren su comprensión, reconociendo que no todos se expresan o aprenden de la misma manera

Interacción y comunicación	Aplicación y resolución de problemas	Demostración de aprendizaje creativo	Flexibilidad en el formato de entrega
<ul style="list-style-type: none"> - Foros de discusión (actividades 1, 7, 16, 24): brindan un espacio para que los estudiantes expresen sus ideas, formulen preguntas y debatan, fomentando la comunicación escrita y el pensamiento crítico 	<ul style="list-style-type: none"> - Tareas de resolución de problemas (actividades 3, 4, 10, 11, 19, 26 y 27): ofrecen la oportunidad de aplicar los conocimientos de física y demostrar comprensión a través de la práctica activa - Tareas de experimentación virtual (actividades 6, 13, 21 y 29): permiten la interacción con los conceptos y la obtención de resultados en un entorno simulado, replicando la experiencia de laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> - Proyecto de ciencias (actividades 7, 15, 23, 30 y 31): empodera a los estudiantes para elegir un tema, diseñar una investigación y presentar sus hallazgos de diversas maneras, promoviendo la autonomía y la creatividad en la expresión 	<ul style="list-style-type: none"> - Opción de utilizar formatos de entrega como Word y PowerPoint con accesibilidad web: permite a los estudiantes elegir el formato que mejor se adapte a sus habilidades y preferencias, asegurando la usabilidad para todos y reduciendo barreras

III. Proporcionar múltiples medios de implicación (el *porqué* del aprendizaje)

Este principio se centra en estimular el interés, la motivación y la autogestión de los estudiantes, abordando el aspecto emocional y afectivo del aprendizaje

Relevancia y conexión personal	Retroalimentación y mejora	Bienestar emocional y autorregulación	Autonomía y elección
<ul style="list-style-type: none"> - Contextualización de los temas con ejemplos de la vida real: aumenta la relevancia y la conexión personal de los estudiantes con la física, mostrando su aplicación práctica - Colaboración y comunidad - Actividades de colaboración (foros y proyecto de ciencias): fomentan la interacción social y el sentido de comunidad, lo que puede aumentar significativamente la motivación y el compromiso 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Feedback</i> constructivo y retroalimentación del profesor: ayuda a los estudiantes a mantenerse comprometidos y a mejorar su aprendizaje, proporcionando orientación y apoyo 	<ul style="list-style-type: none"> - Actividades "Construye T" (actividades 14, 22 y 30): abordan aspectos emocionales y de autoconocimiento, lo que puede mejorar la motivación intrínseca y la capacidad de autorregulación del aprendizaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Opciones y flexibilidad en las tareas: permite a los estudiantes elegir cómo demostrar su comprensión, lo que aumenta su sentido de autonomía y, consecuentemente, su motivación para aprender

Fuente: elaboración propia.

MÉTODO

La metodología empleada en este estudio se fundamenta en la investigación de casos, un enfoque que permite un análisis de fenómenos específicos. Este método es particularmente adecuado para examinar la implementación de estrategias de accesibilidad en entornos educativos digitales, como los cursos de Mecánica en Moodle. Según Yin (2018), la investigación de casos “investiga un fenómeno contemporáneo en su contexto real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no son claramente evidentes” (p. 15).

Para el ciclo escolar 2023-2024 del bachillerato virtual, participaron en el estudio 97 estudiantes matriculados en los cursos de Mecánica, con una distribución por género de 39 hombres (40.2%) y 58 mujeres (59.8%). La población es heterogénea: 31 estudiantes entre 10 y 20 años, 27 estudiantes entre 20 y 30 años, 20 estudiantes entre 30 y 40 años, 15 estudiantes entre 40 y 50 años, y cuatro estudiantes entre 50 y 60 años, reflejando la diversidad característica de las modalidades educativas virtuales. Respecto a la diversidad funcional, 90 estudiantes (92.8%) no reportaban discapacidad, mientras que siete (7.2%) presentaban condiciones específicas que podrían afectar su interacción con el entorno virtual. Del grupo de hombres, 36 (92.31%) no presentaban discapacidad, dos (5.13%) tenían aptitudes sobresalientes de tipo psicomotriz y uno (2.56%) padecía trastornos severos de salud. En cuanto a las mujeres, 54 (93.10%) no tenían discapacidad, mientras que se identificó una (1.72%) con aptitudes sobresalientes psicomotrices, una (1.72%) con autismo, una (1.72%) con discapacidad múltiple y una (1.72%) con síndrome de Asperger y trastornos del espectro autista. Esta composición demográfica proporcionó un escenario adecuado para evaluar la accesibilidad desde múltiples perspectivas.

El proceso de investigación se estructuró en varias etapas, Inicialmente, se definió el problema de investigación, centrándose en la accesibilidad de los cursos de Mecánica en un entorno

virtual de aprendizaje. A continuación, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre accesibilidad web, diseño universal de aprendizaje y el uso de inteligencia artificial en la educación en línea. El diseño de la investigación se fundamentó en un enfoque mixto secuencial explicativo, priorizando inicialmente la dimensión cuantitativa mediante auditorías técnicas de accesibilidad y, posteriormente, se profundizó en la experiencia subjetiva a través de métodos cualitativos.

Esta aproximación, como argumentan Johnson *et al.* (2007), facilita “la amplitud y profundidad de comprensión y corroboración” (p. 123), resultando particularmente pertinente para el estudio de la accesibilidad en entornos virtuales donde convergen aspectos técnicos medibles (como tasas de cumplimiento WCAG) y experiencias subjetivas de usuarios (como la percepción de barreras no cuantificables). La determinación metodológica responde además a la complejidad inherente del objeto de estudio: mientras los métodos cuantitativos permitieron identificar patrones estructurales en las 31 actividades en cada una de las asignaturas de Mecánica 1 y Mecánica II analizadas, revelando que 51% presentaba barreras técnicas, los métodos cualitativos posibilitaron comprender cómo estas barreras afectaban diferencialmente a estudiantes con y sin discapacidad, revelando que incluso usuarios sin discapacidad diagnosticada se beneficiaban significativamente de las mejoras implementadas.

Instrumentos

El diario de campo constituyó una herramienta para la recopilación de información sobre las barreras de accesibilidad. Como señalan Phillippi y Lauderdale (2018), “los diarios de campo son herramientas esenciales para la reflexión y el análisis en la investigación cualitativa” (p. 381). Este instrumento permitió registrar observaciones detalladas sobre las dificultades que enfrentan los estudiantes al interactuar con los cursos en línea.

Adicionalmente, se realizaron entrevistas para explorar las experiencias de los estudiantes con la accesibilidad de los cursos.

El procedimiento de esta investigación se estructuró en etapas para abordar sistemáticamente los aspectos de accesibilidad. En la “etapa 1”, se empleó la herramienta Joplin para registrar las barreras de accesibilidad web identificadas durante las actividades educativas. Este gestor de notas permitió documentar detalladamente los problemas encontrados, facilitando un análisis exhaustivo y el desarrollo de soluciones. Su capacidad para manejar contenido matemático en lenguaje LaTeX resultó particularmente valiosa en el contexto de los cursos de Mecánica.

Para la “etapa 2”, se adoptó el modelo IPAC (inspeccionar, planificar, evaluar y categorizar) descrito por López *et al.* (2018), el cual proporciona un marco integral para la selección y evaluación de herramientas de accesibilidad web. Esta etapa se enfoca en el cumplimiento de las WCAG 2.0, desde el análisis de herramientas y la definición de objetivos hasta la ejecución de la evaluación y la clasificación del nivel de conformidad. Este modelo sistematizó la evaluación de

las herramientas empleadas, asegurando que se abordaran todos los aspectos relevantes metódicamente.

En la “etapa 3” se instaló y utilizó el Kit de Accesibilidad de Brickfield en Moodle, generando informes detallados sobre las barreras presentes. Paralelamente, se aprovecharon las funciones de accesibilidad integradas en Microsoft Word y PowerPoint para optimizar la creación de contenidos accesibles.

La “etapa 4” sirvió para el análisis cualitativo de las entrevistas realizadas, se utilizó Voyant Tools, una herramienta avanzada de procesamiento y visualización de datos textuales que facilitó un análisis temático profundo de las transcripciones, permitiendo identificar patrones y percepciones clave en las experiencias de los estudiantes.

La integración de los datos cuantitativos y cualitativos se realizó mediante un proceso de triangulación, lo que permitió corroborar los hallazgos y obtener una visión más completa de la accesibilidad de los cursos de Mecánica. Este enfoque, como argumentan Flick (2018), “aumenta la validez de los hallazgos de la investigación al proporcionar una imagen más completa del objeto de estudio” (p. 189).

Este estudio implementa un enfoque metodológico innovador que combina herramientas automatizadas de evaluación con soluciones basadas en IA para identificar, analizar y superar las barreras de accesibilidad en entornos educativos virtuales

RESULTADOS

Evaluación de accesibilidad web: un enfoque innovador en los cursos de Mecánica en Moodle

La accesibilidad web constituye un aspecto fundamental en el diseño de cursos en línea, especialmente en la asignatura de Mecánica, donde la complejidad inherente del contenido matemático y técnico presenta desafíos singulares. Este estudio implementa un enfoque metodológico innovador que combina herramientas automatizadas de evaluación con soluciones basadas en inteligencia artificial (IA) para identificar, analizar y superar las barreras de accesibilidad en entornos educativos virtuales.

Para evaluar la accesibilidad en Moodle, se implementó el Kit de Accesibilidad de Brickfield una herramienta capaz de ejecutar auditorías exhaustivas según los criterios de WCAG 2.1, como Mendoza *et al.* (2025) señalan que, además de agilizar la detección de las incidencias más habituales (ver imagen 1), esta solución aporta recomendaciones concretas que facilitan su pronta corrección y contribuyen a la mejora continua. Además, el análisis se complementó con WebAIM Contrast Checker y







NVDA, con el fin de valorar de manera exhaustiva tanto la accesibilidad visual como la auditiva.

Los resultados del diagnóstico se organizaron en una tabla que correlaciona actividades y recursos específicos de Moodle con las directrices correspondientes de accesibilidad y las barreras identificadas. Esta matriz, presentada en la tabla 2, proporciona una cartografía integral de los desafíos de accesibilidad en los cursos de Mecánica, estableciendo prioridades para la intervención.

Errores principales

Comprobar	Número
Elementos resaltados en negritas "bold" (b) no deberían ser usados; en su lugar debería usarse "strong".	67
Los elementos cursivos "italic" (i) no deberían ser usados; en su lugar debería usarse "em".	41
La longitud general del contenido de página no debería exceder 500 palabras.	15
La longitud general del contenido de página no debería exceder 500 palabras.	12
El texto del enlace debería ser descriptivo y proporcionar contexto acerca de su destino	7

Comprobar errores

Comprobar grupo	Número
 Imagen	6
 Diseño	4
 Enlace	23
 Medio	0
 Tabla	1
 Texto	123

Actividades reprobadas

Actividad	Número
Foro	74
Tarea	63
Bancos de preguntas	19
Glosario	1

Proporción aprobación de actividad

Actividad	Aprobado	Falló	Total
Curso	1	0	1
Bancos de preguntas	0	1	1
Tarea	0	15	15
Foro	2	8	190
Glosario	3	1	4
Etiqueta	13	0	13
Examen	4	0	4
Archivo	1	0	1



Imagen 1. Plantillas de informes de accesibilidad, kit de accesibilidad del curso Mecánica II (jueves 26 de octubre de 2023).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Resultados de accesibilidad de los cursos de Moodle

Actividad o recursos	Directrices de accesibilidad	Barreras de accesibilidad	Inteligencia artificial para mejorar la accesibilidad web
Bancos de preguntas	Contenido adaptable	Ecuaciones en formato LaTeX	Conversión del lenguaje LaTeX a lenguaje natural en español
Tareas	Contenido distinguible	Tablas sin encabezados	Rediseñar códigos HTML
-	Alternativas de texto	Imágenes sin texto alternativo	Mejorar el contenido y la redacción
-	Ataque	Textos dinámicos que identifican el tema de la unidad	Rediseñar códigos HTML
Foros	Ataque	Textos dinámicos que identifican el tema de la unidad	Rediseñar códigos HTML
Glosario	Contenido distinguible	Tipo de actividad sopas de letra JClic	Rediseñar la información a formatos de tablas en HTML
Etiqueta	Contenido distinguible	Imágenes sin texto alternativo	Mejorar el contenido y la redacción
Exámen	Contenido adaptable	Ecuaciones en formato LaTeX	Conversión del lenguaje LaTeX a lenguaje natural en español
Archivos	Contenido distinguible	Tablas sin encabezados	Mejorar la información de accesibilidad con Office

Fuente: elaboración propia.

Soluciones basadas en inteligencia artificial

La integración sistemática de soluciones basadas en IA constituye la innovación medular de este enfoque, trascendiendo el paradigma tradicional de accesibilidad hacia un modelo de diseño inclusivo potenciado algorítmicamente.

Para abordar el desafío crítico de las ecuaciones matemáticas, se implementó un sistema multimodal de transformación semántica mediante modelos de lenguaje de gran escala (LLM). Específicamente, se desarrolló un flujo de trabajo bifásico: primero, GPT-4 y Claude Opus procesaban ecuaciones LaTeX a través de *prompts* estructurados de la siguiente forma: “Traduce la siguiente ecuación en LaTeX a lenguaje natural descriptivo apropiado para estudiantes con discapacidad visual, explicando el significado conceptual y

manteniendo el rigor matemático: [ecuación LaTeX]”.

Posteriormente, estos resultados fueron refinados mediante un proceso automatizado de validación por reglas que verificaba: 1) completitud conceptual, 2) precisión terminológica, 3) adecuación pedagógica y 4) estructura narrativa. Según los datos del informe de la imagen 1, se identificaron un total de 123 errores en elementos de texto, 23 en enlaces, seis en imágenes, cuatro en diseño y uno en tablas, mientras que no se detectaron incidencias en medios. Asimismo, de las 157 actividades evaluadas, reprobó 74 foros, 63 tareas, 19 bancos de preguntas y un glosario, quedando aprobadas únicamente aquellas etiquetas y exámenes que cumplían con los criterios de accesibilidad.

Este enfoque permitió transformar sistemáticamente expresiones matemáticas

complejas en descripciones estructuradas que no solo comunicaban los símbolos, sino que construían un andamiaje conceptual completo. Tras aplicar las nuevas descripciones, las evaluaciones con lectores de pantalla registraron un aumento de 78 % en comprensibilidad y una disminución de 62% en errores de interpretación semántica, especialmente en ecuaciones vectoriales multidimensionales que antes presentaban barreras insuperables.

Las salidas generadas fueron validadas mediante un proceso riguroso que involucró a dos profesores de física, un especialista en accesibilidad y un estudiante con discapacidad visual, garantizando tanto la precisión técnica como la utilidad pedagógica.

Para la generación de texto alternativo en imágenes SVG y la estructuración de tablas HTML, se utilizó Perplexity AI con *prompts* estructurados que especificaban requisitos de accesibilidad. Estos procesos fueron posteriormente integrados en flujos de trabajo sistematizados que permitieron a los docentes implementar soluciones de accesibilidad sin necesidad de conocimientos técnicos especializados, reduciendo significativamente la carga de trabajo manual.

METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

La implementación de estas soluciones siguió un ciclo estructurado de rediseño, desarrollado a partir de experiencias previas documentadas por Mendoza *et al.* (2025) en su artículo: Metodología para mejorar la accesibilidad en Moodle: Rediseño del curso de Mecánica.

El proceso comienza con la “empatía”, fase en que se reconocen las barreras específicas que enfrentan usuarios con diversas necesidades (Mendoza-Román *et al.*, 2024). Continúa con la “planificación”,

Tras aplicar las nuevas descripciones, las evaluaciones con lectores de pantalla registraron un aumento de 78% en comprensibilidad y una disminución de 62% en errores de interpretación semántica

donde se establecen objetivos concretos, cronogramas y recursos necesarios (Orellana, 2017). La etapa de “diagnóstico” combina evaluación automatizada y manual para identificar barreras específicas (De Oleo y Rodríguez, 2013). La fase “recursos” define las herramientas tecnológicas y pedagógicas necesarias (Chanchí *et al.*, 2019). El “rediseño” implementa las transformaciones utilizando las soluciones basadas en IA, mientras que la “evaluación” verifica la eficacia de las intervenciones mediante *software* especializado y pruebas con usuarios.

La aplicación de este protocolo resultó en una mejora cuantificable de la accesibilidad en los cursos de Mecánica, con una reducción de 60% en las barreras identificadas inicialmente (algunos ejemplos de estas mejoras pueden observarse en la imagen 2). Para De Souza (2023) la inteligencia artificial se aplica en la evaluación de accesibilidad web para mejorar la descripción de imágenes, detectar tablas y encabezados, asistir a desarrolladores, evaluar la accesibilidad lingüística, simular interacciones, reconocer patrones y convertir imágenes matemáticas. Estas aplicaciones sugieren que la IA podría superar los métodos tradicionales en la evaluación de accesibilidad web.

Ejemplo 1: Actividad 5. Cuestionario: Ejercicios de Repaso Interactivo



Antes del rediseño se solicitaba completar el espacio en blanco con el procedimiento para la conversión de unidades, sin considerar criterios de accesibilidad. / **Después** se optimizó la accesibilidad mediante la inclusión de texto alternativo en cada imagen de los procedimientos, facilitando la comprensión a usuarios de lectores de pantalla y mejorando la experiencia general. Tras analizar el procedimiento, se presenta y selecciona la respuesta adecuada.

Ejemplo 2: Actividad 6. Tarea: Experimentación Virtual



Antes del rediseño la tabla no contaba con criterios de accesibilidad definidos. / **Después** del rediseño con inteligencia artificial se mejoró la accesibilidad, se incluyeron títulos en las tablas e imágenes de ecuaciones, así como texto alternativo para lectores de pantalla.

Ejemplo 3: Marquesinas: textos en movimiento



Antes del rediseño la etiqueta HTML <marquee> dificultaba la accesibilidad web por problemas de percepción, operabilidad, comprensibilidad y falta de robustez (inconsistencia entre navegadores/tecnologías de asistencia), por lo que se recomendó usar alternativas accesibles como animaciones CSS controlables o resaltado estático. / **Después** del rediseño, la transición de la etiqueta <marquee> a texto estático se realizó con los criterios de accesibilidad web. Al eliminar el movimiento, se mejoró la perceptibilidad del contenido, facilitando la lectura y evitando distracciones. Se optimizó la operabilidad, permitiendo a los usuarios interactuar con el texto sin las dificultades que genera el movimiento constante.

Ejemplo 4: Documentos en Word



Antes del rediseño las rúbricas de la actividad de repaso previa, en formato Word, carecían de criterios de accesibilidad. / Después de usar el asistente de accesibilidad, se modificaron las rúbricas (tablas).

Imagen 2. Rediseño con IA para mejorar la accesibilidad en cursos de Mecánica (4 ejemplos)

Fuente: capturas de pantalla de interfaces.

Guía práctica de implementación

Para facilitar la replicación de esta metodología, se ha desarrollado una guía práctica estructurada en tres fases principales:

- 1) Fase diagnóstica (2 a 3 semanas).
 - Realizar auditoría inicial con Kit de Accesibilidad de Brickfield.
 - Priorizar de 3 a 5 problemas críticos según frecuencia e impacto.
 - Clasificar barreras según principios WCAG 2.1 (perceptibilidad, operabilidad, comprensibilidad y robustez).
- 2) Fase de diseño e implementación (4-6 semanas).
 - Desarrollar o adaptar prompts específicos para cada tipo de barrera.
 - Implementar soluciones de IA con validación semanal.
 - Documentar sistemáticamente resultados y ajustes.
- 3) Fase de evaluación y mejora continua (proceso permanente).
 - Realizar pruebas con lectores de pantalla y otras tecnologías asistivas.
 - Recopilar retroalimentación de estudiantes con diversas necesidades.
 - Establecer ciclos semestrales de revisión y actualización.

Este enfoque sistemático no solo aborda los desafíos actuales de accesibilidad en los cursos de Mecánica, sino que establece un paradigma innovador para la integración de soluciones basadas en IA en el diseño universal de cursos en línea. La combinación de herramientas de evaluación automatizadas con tecnologías de IA adaptativas ofrece un camino prometedor hacia una educación científica más inclusiva y equitativa.

Para ampliar la información sobre aspectos específicos de este proceso, incluyendo detalles técnicos sobre la planificación de actividades, herramientas diagnósticas, recursos para el rediseño y protocolos de evaluación, se recomienda consultar Mendoza *et al.* (2025), donde se documentan exhaustivamente las experiencias y resultados obtenidos.

Limitaciones técnicas y apoyo de la inteligencia artificial en la mejora de la accesibilidad web educativa

La implementación de estrategias de accesibilidad web en entornos educativos presenta desafíos significativos que deben reconocerse para contextualizar adecuadamente los resultados obtenidos y las recomendaciones propuestas. Esta sección analiza las principales limitaciones enfrentadas durante el estudio y las estrategias empleadas para mitigarlas.

Una restricción fundamental deriva de las características de la versión de Kit de Accesibilidad

Es importante señalar que el estudio estuvo circunscrito a una única institución educativa, lo que podría limitar la generalización de algunos hallazgos a contextos con características demográficas, tecnológicas o pedagógicas diferentes

de Brickfield para Moodle, pues si bien es útil para evaluaciones básicas e identificación de errores comunes, generando informes detallados y permitiendo edición HTML para corrección, sus funcionalidades avanzadas son limitadas en comparación con la versión comercial de pago, que ofrece análisis más exhaustivos y corrección sistemática, siendo óptima para un entorno de aprendizaje en línea incluso de forma más eficiente y completa.

La segunda limitación significativa concierne al conocimiento técnico especializado requerido para interpretar y aplicar correctamente las recomendaciones de accesibilidad, particularmente en lo referente a la semántica HTML. En este contexto, las herramientas de inteligencia artificial demostraron ser valiosas para superar estas barreras de comprensión técnica. Por ejemplo, cuando Brickfield detectó el uso inadecuado de la etiqueta `` (formato visual sin valor semántico), recomendando su sustitución por `` (elemento con significado semántico de énfasis), utilizando Gemini 2.5 Flash para clarificar estas diferencias conceptuales. La efectividad de este enfoque dependió significativamente de la formulación de *prompts* estructurados y precisos, como: “Actúa como un experto en accesibilidad web y

diseño HTML semántico. Explica detalladamente la diferencia fundamental entre la etiqueta HTML `` (elemento de negrita) y la etiqueta `` (elemento de fuerte importancia)”.

Este tipo de *prompts*, que especifican con precisión la función, el tema, los puntos esenciales y el formato requerido, resultaron fundamentales para obtener orientación técnica de calidad. Para una comprensión más amplia de este enfoque metodológico, se recomienda consultar el anexo 1 disponible en el siguiente enlace: <https://n9.cl/58tj80>, donde se presentan diez ejemplos actualizados de *prompts* desarrollados con ChatGPT-4o, específicamente diseñados para resolver problemas de accesibilidad web en contextos educativos.

La tercera limitación emergió en el proceso de generación automatizada de descripciones alternativas para imágenes de ecuaciones matemáticas, donde se reveló una limitación de Perplexity AI al corregir errores intencionales en imágenes de conversiones de unidades, impidiendo la evaluación de la identificación de errores. Esta incapacidad para distinguir entre describir y corregir requirió un protocolo híbrido con revisión humana y etiquetas específicas (“`\\[MANTENER_ERRORES\\]`” y “`\\[DESCRIPCIÓN_LITERAL\\]`”) para preservar la integridad pedagógica en actividades evaluativas, evidenciando la necesidad de IA con mayor sensibilidad contextual pedagógica.

Adicionalmente, es importante señalar que el estudio estuvo circunscrito a una única institución educativa, lo que podría limitar la generalización de algunos hallazgos a contextos con características demográficas, tecnológicas o pedagógicas diferentes. La evaluación se realizó durante un período académico específico (ciclo 2023-2024), lo que no permite observar tendencias en la implementación y efectividad de las estrategias de accesibilidad. También debe considerarse la dependencia técnica de la versión específica de Moodle utilizada (3.11.6+), cuyos parámetros de accesibilidad y compatibilidad

con herramientas externas podrían variar en versiones posteriores o anteriores de la plataforma.

El reconocimiento de estas limitaciones no disminuye la validez de los resultados obtenidos, sino que contextualiza su interpretación y ofrece direcciones valiosas para investigaciones futuras. La transparencia metodológica respecto a estas restricciones fortalece la integridad científica del estudio y facilita la adaptación de las recomendaciones a diversos contextos educativos.

Metodología para la visualización de datos cualitativos

El proceso de análisis visual se desarrolló siguiendo un protocolo sistemático con Voyant Tools, plataforma que permite explorar patrones lingüísticos mediante visualizaciones dinámicas, con base a la experiencia de Smith (2024) y Alhuthi (2021). La metodología incluyó cinco fases secuenciales:

- 1) Preparación del corpus: las transcripciones de entrevistas fueron depuradas, clasificadas temáticamente y exportadas a formato .txt, siguiendo las recomendaciones de Bazeley y Jackson (2019) para preservar la integridad de los datos cualitativos (las transcripciones anónimas de las entrevistas pueden consultarse en el siguiente enlace <https://n9.cl/j8bto>).
- 2) Procesamiento digital: los archivos se cargaron en la plataforma Voyant Tools mediante su interfaz web, generando visualizaciones preliminares del corpus textual.
- 3) Visualización optimizada: se empleó el módulo Cirrus para generar nubes de palabras, aplicando filtros para excluir palabras funcionales en español y configurando parámetros para mostrar los 100 términos más relevantes por categoría.
- 4) Análisis integrado: las visualizaciones se interpretaron conjuntamente con el análisis temático, estableciendo una triangulación

metodológica (Flick, 2018) que combina enfoques cuantitativos y cualitativos.

- 5) Documentación accesible: cada visualización se complementó con leyendas descriptivas y texto alternativo conforme a los criterios WCAG 2.1, garantizando tanto la inclusión como la transparencia metodológica (Baxter y Jack, 2008).

Este procedimiento permitió transformar datos textuales complejos en representaciones visuales intuitivas, facilitando la identificación de patrones discursivos relevantes para la mejora de la accesibilidad en los cursos de Mecánica.

Entrevista a los alumnos acerca de la accesibilidad de los cursos de Mecánica

Para obtener una comprensión integral de la accesibilidad en los cursos de Mecánica, se realizaron entrevistas semiestructuradas a estudiantes del bachillerato virtual. Este proceso evaluativo buscó examinar la experiencia de aprendizaje desde múltiples dimensiones: accesibilidad visual, comprensión del contenido y satisfacción general con las medidas implementadas. Las entrevistas no solo permitieron identificar fortalezas y áreas de

El reconocimiento de estas limitaciones no disminuye la validez de los resultados obtenidos, sino que contextualiza su interpretación y ofrece direcciones valiosas para investigaciones futuras

oportunidad, sino también recopilar propuestas concretas para futuras mejoras. El análisis se organizó en tres categorías temáticas principales: accesibilidad de la información visual, comprensión y percepción de la información, y satisfacción general con la accesibilidad del curso, proporcionando así una visión holística de la interacción estudiante-contenido.

En mayo de 2024 se analizó una muestra de 14 estudiantes, en una concentración en el grupo de edad de 16 a 19 años (uno de ellos con TDAH), el cual presenta la frecuencia más alta con cinco estudiantes. Le siguen los grupos de 20 a 29 años y de 30 a 39 años, con dos y tres estudiantes respectivamente. Finalmente, los grupos de 40 a 49 años y de 50 a 59 años comparten una frecuencia de dos estudiantes cada uno.

1. Accesibilidad de la información visual en los cursos de Mecánica

La evaluación sobre cómo los estudiantes comprenden y perciben la información en los cursos de Mecánica reveló hallazgos significativos que iluminan tanto fortalezas como oportunidades de mejora. Este análisis proporciona una visión más profunda de cómo los participantes procesan cognitivamente el contenido académico y navegan a través de las estructuras didácticas implementadas. Aspectos positivos identificados:

- Claridad general de instrucciones: la mayoría de los participantes reportaron una adecuada comprensión de las directrices para las actividades, aunque con matices importantes. Un estudiante señaló: “En el apartado de instrucciones de cada actividad se especificaba lo que se tenía que hacer de manera bastante clara” (R1S9, 28 años). Este hallazgo se alinea con lo planteado por Visa (2024) acerca de que “la claridad de las instrucciones, el diseño intuitivo de la plataforma y el soporte tecnológico adecuado fueron aspectos resaltados por los estudiantes como fundamentales para su partici-

pación activa y efectiva en las actividades académicas” (p. 4898).

- Recursos multimodales: los participantes enfatizaron el valor de contar con diversos formatos para acceder a la información. Una estudiante comentó: “los videos son de gran ayuda porque cuando se muestran ejemplos es más fácil de comprender las instrucciones” (R2S11, 17 años). Este enfoque multimodal de presentación informativa implementa directamente los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje. Como argumentan Rose y Meyer (2022), “proporcionar múltiples medios de representación ayuda a los estudiantes a acceder y procesar la información de manera más efectiva” (p. 203).
- Materiales de apoyo: la disponibilidad de recursos complementarios fue ampliamente valorada. Un estudiante adulto explicó: “internet, material de apoyo y libros” (R5S10, 37 años) al describir los elementos más útiles para su aprendizaje. Estos materiales adicionales funcionan como andamiaje cognitivo, facilitando la comprensión progresiva de conceptos complejos característicos de la mecánica física.
- Análisis visual de percepciones estudiantiles: para visualizar eficazmente las percepciones de los estudiantes, se realizó un análisis textual mediante Voyant Tools, generando nubes de palabras que representan gráficamente los términos más frecuentes en las respuestas. La figura 1 muestra esta visualización, donde el tamaño de cada término refleja su frecuencia en el corpus analizado.

Áreas de mejora identificadas: formato de texto y ecuaciones matemáticas (dificultades reportadas por estudiantes, especialmente con contenido matemático mal presentado o escaneado). Recursos visuales complementarios (sugerencia de incrementar elementos visuales explicativos para mejorar la comprensión y accesibilidad).

las actividades. Un estudiante de primer semestre sin discapacidad reportada expresó: “En cada actividad vienen las instrucciones, además contamos con material de apoyo donde nos facilitan los enlaces” (R1S2, 42 años). De manera similar, un estudiante con trastornos del espectro autista señaló: “En el apartado de instrucciones de cada actividad se especificaba lo que se tenía que hacer de manera bastante clara” (R1S9, 28 años). Estas percepciones coinciden con Luo y Baaki, quienes señalan que los “diversos hallazgos destacan que una estructura de curso bien organizada, acompañada de representaciones externas y apoyos progresivos, mejora la comprensión, participación y satisfacción del estudiante en entornos virtuales, al facilitar el tránsito desde la exploración hasta el compromiso con el diseño instruccional” (2019, p. 63).

- Ecosistema de recursos: los estudiantes valoraron especialmente la diversidad y disponibilidad de herramientas pedagógicas complementarias. Un estudiante adulto que compagina estudios y trabajo comentó: “Internet, material de apoyo y libros” (R5S10, 31 años) al enumerar los recursos que facilitaron su aprendizaje. Una estudiante con aptitudes sobresalientes añadió: “Cuando se incluyen videos para reiterar la información” (R5S12, 18 años), subrayando la importancia de la redundancia informativa en diferentes formatos. Aunque la tecnología en línea permite el acceso a materiales desde cualquier lugar y en casi cualquier momento, esto no garantiza por sí solo un aprendizaje autónomo exitoso, es necesario proporcionar recursos intencionales y estructurados que faciliten la accesibilidad del estudiante (Driscoll *et al.*, 2012, citado en Luo y Baaki, 2019).
- Relevancia percibida: un factor determinante en la satisfacción de los participantes fue su percepción de la utilidad inmediata y futura del contenido. Una estudiante de

segundo semestre expresó: “Mi nivel de satisfacción sobre este curso es bueno, porque creo que este curso te ayuda a comprender el porqué suceden algunas cosas basándose en el conocimiento previo” (R21S11, 17 años). Esta conexión entre satisfacción y relevancia percibida constituye un factor para la motivación sostenida.

- Análisis visual de patrones discursivos: para facilitar la identificación de tendencias en las respuestas estudiantiles, se implementó un análisis mediante visualización de datos textuales, representado en la figura 3. Esta nube de palabras revela la centralidad de términos como *actividades*, *accesibilidad* y *bueno* en el discurso de los participantes.

La visualización revela cuatro núcleos temáticos principales, representados en los testimonios destacados alrededor de la imagen: percepción general de accesibilidad, nivel de satisfacción, facilidad de comprensión y claridad de recursos. Particularmente significativo resulta el equilibrio entre términos asociados a experiencias positivas (*bueno*, *correcto* y *facilidad*) y aquellos que señalan áreas de mejora (*complicó*, *bastante* y *difícil*).

Se identificaron tres áreas de oportunidad para optimizar el bachillerato virtual: complejidad conceptual (dificultad con contenido técnico, especialmente sin formación previa), tal como proponen Ali *et al.* (2024). Densidad informativa (percepción de sobrecarga cognitiva) y multimodalidad representacional (necesidad de diversos formatos como imágenes y videos para facilitar la comprensión). Estas observaciones se alinean con los principios cognitivos propuestos por Mayer y Fiorella (2014). Estas áreas se relacionan con la implementación de apoyos diferenciados, la segmentación del contenido, según Rose y Meyer (2022), el Diseño Universal para el Aprendizaje se alinea con la necesidad de múltiples representaciones para la accesibilidad cognitiva, reconociendo las diversas formas en que los cerebros procesan la información (p. 142).

este principio podría transformar significativamente la accesibilidad cognitiva del curso.

Adicionalmente, la recurrente sugerencia estudiantil sobre la incorporación de guías procedimentales detalladas refleja la necesidad de estructurar más explícitamente la presentación de información compleja. Pastor (2019) subraya la necesidad de ofrecer diversas formas de representar la información, con cual se reconozcan las diferencias individuales de cómo los estudiantes perciben y comprenden los contenidos presentados. Por tanto, implementar estas estrategias potenciaría no solo la accesibilidad, sino la efectividad pedagógica global.

Satisfacción estudiantil y relevancia percibida

La evaluación de satisfacción estudiantil reveló un patrón diferenciado, pero mayoritariamente positivo respecto a las intervenciones de accesibilidad implementadas. El análisis temático de las 14 entrevistas evidenció tres categorías predominantes de satisfacción: 1) valoración de la claridad estructural (71.4% de los participantes), 2) apreciación del ecosistema diversificado de recursos (64.3%) y 3) percepción de relevancia y aplicabilidad directa del contenido adaptado (57.1%). Particularmente significativo resulta que estudiantes sin discapacidad diagnosticada (grupo mayoritario con 92.8% de la muestra) reportaron beneficios tangibles derivados de las mejoras de accesibilidad, validando empíricamente el principio fundamental del Diseño Universal para el Aprendizaje: el diseño inclusivo beneficia a todos los estudiantes, no exclusivamente a quienes presentan necesidades específicas.

Esta constatación corrobora los hallazgos de Gronseth *et al.* (2020), quienes establecen que “la satisfacción del estudiante con la accesibilidad del curso está directamente relacionada con su compromiso y éxito académico” (p. 215). No obstante, el análisis granular de los datos reveló áreas críticas de insatisfacción persistente, particularmente en torno a la complejidad conceptual

de contenidos matemáticos avanzados (reportada por 42.8% de los participantes) y la densidad informativa de ciertas unidades (mencionada por 35.7%), sugiriendo la necesidad de implementar sistemas adaptativos de apoyo diferenciado y estrategias más robustas de segmentación del contenido técnico.

La integración de soluciones basadas en inteligencia artificial para mejorar la accesibilidad representa un enfoque innovador con potencial transformador. Como señalan Huang *et al.* (2024), “aprovechando la información sobre errores de accesibilidad, los modelos de lenguaje grande (LLM) y las técnicas de ingeniería rápida, se puede lograr una reducción significativa en los errores de infracción de accesibilidad” (p. 1). Esta aproximación puede abordar desafíos técnicos específicos y facilitar una personalización más profunda del contenido para satisfacer diversas necesidades de accesibilidad.

Análisis comparativo con estudios previos

Para contextualizar el aporte específico de esta investigación al campo de la accesibilidad educativa y el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), resulta fundamental establecer comparaciones sistemáticas con estudios similares. La tabla 3 presenta un análisis comparativo de investigaciones recientes sobre evaluación de accesibilidad, tecnologías digitales e implementación del DUA en entornos educativos.

Este análisis comparativo evidencia que nuestro estudio representa un avance significativo en la aplicación práctica de principios de accesibilidad en disciplina de Mecánica, específicamente por: 1) la implementación y evaluación de herramientas concretas en lugar de limitarse a percepciones o conceptualizaciones, 2) la integración de tecnologías de IA en la transformación de contenido matemático complejo y 3) la validación de estas intervenciones mediante evaluaciones tanto automatizadas como realizadas por usuarios reales.

Tabla 3. Análisis comparativo de estudios sobre accesibilidad educativa y Diseño Universal para el Aprendizaje

Estudio	Contexto y metodología	Herramientas / estrategias	Hallazgos principales	Contribución distintiva de nuestro trabajo
Sánchez-Serrano (2022)	Revisión sistemática de 27 estudios sobre formación docente en DUA (2000-2020)	Formación teórica en DUA, guías procedimentales, diseño curricular accesible	La formación especializada mejora significativamente percepciones y competencias docentes para implementar DUA	Mientras Sánchez-Serrano documenta efectos post-formación teórica, nuestro enfoque implementa herramientas concretas en el rediseño técnico de cursos Moodle, integrando evaluación automatizada y humana
Avellán-Zambrano & Alcívar-Pincay (2024)	Estudio mixto con 146 docentes de Ecuador mediante encuestas y grupos focales	DUA, TIC, comunicación aumentativa	Alta valoración conceptual del DUA, pero limitado dominio técnico de herramientas específicas	A diferencia de este estudio centrado en percepciones, nuestro trabajo implementa y evalúa herramientas específicas (Brickfield, EqualX) en un entorno real de enseñanza técnica
Rigcha Betún <i>et al.</i> (2024)	Estudio de campo con asistentes de voz en estudiantes con dislexia mediante listas de cotejo	Asistentes de voz, IA conversacional, retroalimentación oral	Reducción significativa de errores semánticos, aunque persistencia de uso limitado en práctica docente cotidiana	Nuestro trabajo avanza al integrar sistemáticamente asistentes de voz con criterios de accesibilidad en contenido matemático (EqualX) y entornos técnicos (Moodle), superando intervenciones puntuales

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIÓN

El presente estudio sobre rediseño digital de los cursos de Mecánica con enfoque inclusivo potenciado por inteligencia artificial (IA) ha generado resultados que contribuyen sustancialmente al campo de la accesibilidad en educación virtual. Mediante un análisis de las barreras, implementación de soluciones tecnológicas avanzadas y evaluación de experiencias estudiantiles, se han documentado tanto avances notables como oportunidades de optimización en la construcción de ambientes de aprendizaje inclusivos.

Los hallazgos centrales evidencian que la integración estratégica de herramientas de IA, particularmente la conversión de LaTeX a lenguaje natural y la reestructuración semántica de código HTML, potencia considerablemente la accesibilidad de contenidos matemáticos y técnicos en los cursos analizados. Esta constatación corrobora las observaciones de Huang *et al.* (2024), cuyos estudios demostraron reducciones sustanciales en infracciones de accesibilidad mediante la im-

plementación de técnicas de IA. Complementariamente, los niveles de satisfacción reportados por los estudiantes con las mejoras implementadas subrayan el impacto positivo de estas intervenciones en la experiencia educativa integral.

No obstante, la investigación también identificó desafíos persistentes, especialmente en la representación accesible de contenido matemático complejo y en la adaptación a la diversidad de estilos cognitivos de aprendizaje.

Las implicaciones de este trabajo resultan particularmente relevantes para el diseño instruccional de cursos virtuales en la asignatura de Mecánica. Los resultados sugieren que un abordaje multidimensional que integre herramientas de IA con principios del Diseño Universal de Aprendizaje puede transformar significativamente la accesibilidad e inclusividad de cursos técnicos en línea.

Es conveniente reconocer las limitaciones del presente estudio, incluyendo su circunscripción a un conjunto específico de cursos de Mecánica y la naturaleza evolutiva de las tecnologías de

IA empleadas. Investigaciones futuras podrían expandir este enfoque hacia otros campos disciplinares y examinar longitudinalmente los efectos de estas intervenciones en indicadores como rendimiento académico, retención estudiantil y transferencia de aprendizajes.

En síntesis, esta investigación demuestra el potencial transformador de la IA como catalizador de accesibilidad en la educación científica virtual, particularmente en disciplinas con alta complejidad técnica como mecánica. El modelo implementado en el Bachillerato Virtual de la Universidad Autónoma de Sinaloa evidencia que la accesibilidad impulsada algorítmicamente trasciende la conformidad normativa para constituirse en un factor de enriquecimiento pedagógico universal, beneficiando tanto a estudiantes con discapacidades específicas (7.2% de la población estudiada) como al alumnado general. Sin embargo, los resultados subrayan simultáneamente la insuficiencia de aproximaciones puramente tecnológicas: la efectividad de las soluciones basadas en IA depende de su integración en un ecosistema pedagógico coherente que considere aspectos como la carga cognitiva, la diversificación representacional y el diseño instruccional. Esta constatación fundamenta tres recomendaciones operativas para instituciones educativas: 1) implementar equipos transdisciplinares que integren especialistas en accesibilidad, expertos en IA y docentes disciplinares; 2) desarrollar procesos iterativos de evaluación que incorporen sistemáticamente la retroalimentación estudiantil; y 3) establecer repositorios institucionales de mejores prácticas que documenten y socialicen las intervenciones exitosas. En un contexto educativo progresivamente digitalizado, la integración sistemática de soluciones basadas en IA para la accesibilidad no constituye una opción, sino un imperativo ético y pedagógico para materializar el derecho a una educación verdaderamente inclusiva y equitativa.

Este estudio deriva en tres líneas de investigación futuras prioritarias. Primero, desarrollar

métodos automatizados para evaluar la accesibilidad cognitiva (complementando las evaluaciones de accesibilidad perceptual) mediante procesamiento de lenguaje natural para analizar la complejidad lingüística de instrucciones y contenidos educativos. Segundo, implementar sistemas adaptativos que personalicen dinámicamente la presentación del contenido según necesidades específicas, pasando de un modelo de accesibilidad prediseñada a uno de adaptabilidad automatizada en tiempo real. Tercero, explorar metodologías mixtas que integren perspectivas neurocognitivas en la evaluación de accesibilidad, combinando datos cualitativos con métricas objetivas sobre carga cognitiva y procesamiento de información científica. Estas proyecciones son caminos para la investigación académica y para lograr una educación científica verdaderamente inclusiva, donde la accesibilidad es un principio fundamental de la experiencia educativa contemporánea, no solo un requisito técnico. *a*

REFERENCIAS

- Alcívar F, O. D., Garcés S, E. F. y Garcés S, E. M. (2022). Interacción y participación en ambientes virtuales de aprendizaje: una mirada comprensiva desde la práctica. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(6), 256265. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000600256
- Alhudithi, E. (2021). Review of Voyant Tools: See through your text. *Language Learning & Technology*, 25(3), 43-50. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/server/api/core/bitstreams/05516ef7-dd9e-4461-a1c7-14eb895d740e/content>
- Ali, A., Khusro, S. & Alahmadi, T. J. (2024). Accessible interactive learning of mathematical expressions for school students with visual disabilities. *PeerJ Computer Science*, 10: e2599. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2599>
- Armano, T., Borsero, M., Capietto, A., Murru, N., Panzarea, A. & Ruighi, A. (2018). On the accessibility of Moodle 2 by visually impaired users, with a focus on mathematical content. *Universal Access in the Information Society*, 17(4), 865-874. <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0546-8>

- Avellán-Zambrano, M. y Alcívar-Pincay, G. A. (2024). Diseño Universal para el Aprendizaje: percepciones, desafíos y necesidades formativas de los docentes. *Arandú*, 11(2), 49-61. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.251>
- Baxter, P. & Jack, S. (2008). Qualitative case study methodology: Study design and implementation for novice researchers. *The Qualitative Report*, 13(4), 544-559. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2008.1573>
- Bazeley, P. & Jackson, K. (2019). *Qualitative data analysis with NVivo*. SAGE Publications. <https://doi.org/10.1080/14780887.2014.992750>
- Chanchí, G. E. G., Vargas, P. A. y Campo, W. Y. M. (2019). Construcción de recursos educativos para la temática de accesibilidad en el curso de interacción humano computador. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E23), 171-183. <https://www.proquest.com/openview/aaacaa4d090af1c5305e20bb50d5c130/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- De Oleo Moreta, C. y Rodríguez Baena, L. (2013). Pautas, métodos y herramientas de evaluación de accesibilidad web. *Ventana Informática*, (28), 99-115. <https://doi.org/10.30554/ventanainform.28.185.2013>
- De Souza, E. R. (2023). Evaluación de la accesibilidad web: oportunidades con inteligencia artificial y aprendizaje automático. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (191), 237-254. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi19i1.9561>
- Flick, U. (2018). Triangulation. En N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The SAGE Handbook of Qualitative Research* (pp. 444-461). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781529716634>
- Gallegos Navas, M. M. de J. (2022). El Diseño Universal de Aprendizaje: una revisión sistemática. *Ecos de la Academia*, 7(14), 3130-3332. <https://doi.org/10.53358/ecosacademia.v7i14.621>
- Granda, M. J. & Herrero Vázquez, M. (2022). *Adaptation to Universal Design for Learning in Higher Degree Cycle of Clinical Laboratory & Biomedicine* [trabajo final de Máster, Universidad de Oviedo]. Repositorio Institucional. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/64207/TFM_MariaJesusGarciaGranda.pdf?sequence=4
- Gronseth, S. L., Michela, E. & Ugwu, L. O. (2020). Designing for accessibility: The intersection of instructional design and disability studies. *TechTrends*, 64(2), 214-228. <https://doi.org/10.1007/s11528-019-00455-6>
- Huang, C., Ma, A., Vyasamudri, S., Puype, E., Kamal, S., Garcia, J. B., Cheema, S. & Lutz, M. (2024). ACCESS: Prompt Engineering for Automated Web Accessibility Violation Corrections (arXiv:2401.16450). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2401.16450>
- Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J. & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(2), 112-133. <https://doi.org/10.1177/1558689806298224>
- López-Zambrano, J., Moreira-Pico, J. y Alava-Cagua, N. (2018). Metodología para valorar y clasificar herramientas de evaluación de accesibilidad web. *E-Ciencias de la Información*, 8(1), 172-189. <https://doi.org/10.15517/eci.v8i1.30012>
- Luo, T. & Baaki, J. (2019). Scaffolding problem-solving and instructional design processes: Engaging students in reflection-in-action and external representations in three online courses. En M. Boboc & S. Koç (Eds.), *Student-centered virtual learning environments in higher education* (pp. 40-69). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5769-2.ch003>
- Mayer, R. E. & Fiorella, L. (2014). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. En R. E. Mayer & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 279-315). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CB09781139547369.015>
- Mendoza-Román, J. M., De Loza-Dones, D. E., Alvarado-Lemus, J. A. y Duarte-Gastelum, J. E. (2024). Rediseño digital de los cursos de Mecánica: un enfoque inclusivo con IA. En E. Ruiz-Velasco Sánchez y J. Bárcenas López (Coords.), *Argumentos y usos tecnopedagógicos de la Inteligencia Artificial* (pp. 471-479). SOMECE. <https://n9.cl/xrlj2>
- Mendoza Román, J. M., Alvarado Lemus, J. A. y Duarte Gastélum, J. E. (2025). Metodología para mejorar la accesibilidad en Moodle. Rediseño del curso de Mecánica I. *Revista mexicana de bachillerato a distancia*, 17(33). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.20074751e.2025.33.90981>
- Merino-Fernández, M. Á., Ortiz-Revilla, J. y Greca, I. M. (2023). Diseño universal para el aprendizaje en educación STEAM integrada: una experiencia en educación primaria. *Revista de Enseñanza de la Física*, 35(2), 223-235. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v35.n2.43733>
- Orellana Guevara, C. (2017). La estrategia didáctica y su uso dentro del proceso de enseñanza y aprendizaje en el contexto de las bibliotecas escolares. *E-Ciencias de la Información*, 7(1), 1-23. <http://doi.org/10.15517/eci.v7i1.27241>
- Pastor, C. A. (2019). Diseño Universal para el Aprendizaje: un modelo teórico-práctico para una educación inclusiva de

- calidad. *Participación educativa*, 6(9), 55-68. <http://hdl.handle.net/11162/190783>
- Phillippi, J. & Lauderdale, J. (2018). A guide to field notes for qualitative research: Context and conversation. *Qualitative Health Research*, 28(3), 381-388. <https://doi.org/10.1177/1049732317697102>
- Pin Macías, A., Fernández, J. M., Proaño, T., Zavala, P. y Bustillos, M. J. (2024). Diseño Universal para el Aprendizaje y la equidad educativa: una revisión de políticas y prácticas. *Reincisol*, 3(6), 6339-6351. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)6339-6351](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)6339-6351)
- Rello, L. & Baeza-Yates, R. (2020). How to present more readable text for people with dyslexia. *Universal Access in the Information Society*, 19(3), 85-100. <https://doi.org/10.1007/s10209-019-00703-9>
- Rigcha Betún, R. E., Contero Ramos, A. F. y Otagal Yumisaca, L. A. (2024). Asistentes de voz virtuales: recurso que evita errores semánticos en estudiantes disléxicos de bachillerato. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(6), 234-261. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3005>
- Romero Velázquez, A. M. y Torres Aguirre, C. E. (2021). Accesibilidad en el rediseño de las asignaturas de B@UNAM. *Revista mexicana de bachillerato a distancia*, 13(25), 1-12. <https://doi.org/10.22201/cuaieed.20074751e.2021.25.78854>
- Rose, D. H. & Meyer, A. (2022). *Universal Design for Learning: Theory and practice*. CAST Professional Publishing. <https://publishing.cast.org/catalog/books-products/universal-design-for-learning-meyer-rose-gordon>
- Sánchez-Serrano, J. M. (2022). Eficacia de la formación docente en diseño universal para el aprendizaje: una revisión sistemática de literatura (2000-2020). *Journal of Neuroeducation*, 3(1), 17-33. <https://doi.org/10.1344/joned.v3i1.39657>
- Smith, A. M. (2024). Sinclair, S., & Rockwell, G. 2016. Voyant Tools. <http://voyant-tools.org/>. *Journal of Web Librarianship*, 18(1), 35-37. <https://doi.org/10.1080/19322909.2024.2327877>
- Visa, R. (2024). Las TIC's como herramientas de accesibilidad a los entornos virtuales de aprendizaje para personas con diversidad funcional. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 4891-4901. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10905
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods*. SAGE Publications. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/case-study-research-and-applications/book250150#contents>

Este artículo es de acceso abierto. Los usuarios pueden leer, descargar, distribuir, imprimir y enlazar al texto completo, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

Mendoza Román, J. M., Alvarado Lemus, J. A. y Duarte Gastélum, J. E. (2025). Mejorando la accesibilidad en el bachillerato virtual: rediseño de cursos de Mecánica con inteligencia artificial. *Apertura*, 17(2), 20-43. <http://doi.org/10.32870/Ap.v17n2.2640>