



CENTRO  
DE CIENCIAS  
BÁSICAS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS**

**TÍTULO DE LA TESIS**

*“PRODUCCIÓN DE CONTENIDOS EDUCATIVOS CON TÉCNICAS DE  
INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA PARA MITIGAR DÉFICITS DE  
APRENDIZAJE”*

**PRESENTA**

Daniel Mares Esparza

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON  
OPCIONES A LA COMPUTACIÓN; MATEMÁTICAS APLICADAS

**COMITÉ TUTORAL**

Dr. Jaime Muñoz Arteaga (Director de Tesis)

Dr. Ezra Federico Parra González (Asesor Externo)

Dr. Julio Cesar Ponce Gallegos (Asesor)

Aguascalientes, Ags, Julio de 2025

CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL

Mtro. en C. Jorge Martín Alférez Chávez  
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

PRESENTE

Por medio del presente como **TUTOR** designado del estudiante **DANIEL MARES ESPARZA** con ID 210348 quien realizó la tesis titulado: **PRODUCCIÓN DE CONTENIDOS EDUCATIVOS CON TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA PARA MITIGAR DÉFICITS DE APRENDIZAJE**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a día 21 de julio de 2025.

  
Dr. Jaime Muñoz Arteaga  
Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL

Mtro. en C. Jorge Martín Alférez Chávez  
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

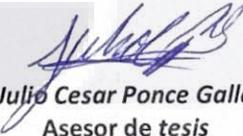
PRESENTE

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **DANIEL MARES ESPARZA** con ID 210348 quien realizó la tesis titulado: **PRODUCCIÓN DE CONTENIDOS EDUCATIVOS CON TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA PARA MITIGAR DÉFICITS DE APRENDIZAJE**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a día 21 de julio de 2025.

  
Dr. Julio Cesar Ponce Gallegos  
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

**Mtro. en C. Jorge Martín Alférez Chávez**  
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

PRESENTE

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **DANIEL MARES ESPARZA** con ID 210348 quien realizó *la tesis* titulado: **PRODUCCIÓN DE CONTENIDOS EDUCATIVOS CON TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA PARA MITIGAR DÉFICITS DE APRENDIZAJE**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *él* pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a día 21 de julio de 2025.



**Dr. Ezra Federico Parra González**  
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado



**DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO**



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 28/07/2025

**NOMBRE:** DANIEL MARES ESPARZA **ID** 210348

**PROGRAMA:** Maestría en Ciencias Con Opción a la Computación, Matemáticas Aplicadas **LGAC (del posgrado):** Software

**TIPO DE TRABAJO:** (  ) Tesis (  ) Trabajo Práctico

**TÍTULO:** PRODUCCIÓN DE CONTENIDOS EDUCATIVOS CON TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA PARA MITIGAR DÉFICITS DE APRENDIZAJE

**IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):** \_\_\_\_\_

**INDICAR SI NO N.A. (NO APLICA) SEGÚN CORRESPONDA:**

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>				
SI				El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI				La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI				Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI				Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI				Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI				El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>				
SI				Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI				Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI				Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
SI				Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI				Coincide con el título y objetivo registrado
SI				Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI				Tiene el CVU del Conacyt actualizado
SI				Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>				
N.A.				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.				El estudiante es el primer autor
N.A.				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.				La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Si X  
No \_\_\_\_\_

**FIRMAS**

**Elaboró:**

\* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

DR. JAIME MUÑOZ ARTEAGA

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

DRA. MARIANA ALFARO GÓMEZ

\* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

**Revisó:**

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

DR. ALEJANDRO PADILLA DÍAZ

**Autorizó:**

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

MTRO. EN C. JORGE MARTÍN ALFÉREZ CHÁVEZ

**Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado**

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: .... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Aguascalientes por permitirme formar parte del programa educativo de posgrado de Maestría en Ciencias con opciones a la Computación, permitiéndome la obtención de nuevos conocimientos y experiencias para mejorar mi desarrollo profesional.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por su invaluable apoyo y financiamiento otorgado durante la realización de mis estudios de maestría. Gracias a los recursos otorgados fue posible alcanzar una dedicación exclusiva a la investigación y elaboración de diversos logros académicos.

Al Centro de Atención para Estudiantes con Discapacidad (CAED) del CBTis 168 por permitir la colaboración para trabajar junto a los asesores y alumnos para lograr un impacto real.

Al Dr. Jaime Muñoz Arteaga por ser mi tutor durante el transcurso del posgrado, además de brindarme orientaciones bastas para lograr los objetivos en tiempo y forma.

Al Dr. Julio César Ponce Gallegos por ser asesor en el comité, quien me orientó con consejos y guías para la realización de artículos científicos.

Al Dr. Ezra Federico Parra González por ser mi asesor, quien me apoyó con diversas revisiones del proceso de cada etapa en la que se encontraban los trabajos realizados y así como guiarme en que las redacciones fuesen claras.

## ÍNDICE GENERAL

Índice General.....	1
Lista de figuras .....	6
Lista de tablas .....	8
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>11</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.2 Justificación .....	14
1.3 Objetivos de Investigación .....	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos .....	15
1.4 Hipótesis .....	16
1.5 Preguntas de Investigación .....	16
1.6 Alcances y Limitaciones.....	17
<b>Capítulo 2. Marco Teórico .....</b>	<b>19</b>
2.1 Adaptabilidad de contenidos educativos .....	19
2.2 Comprensión Lectora y Lectura Fácil .....	20
2.3 Fundamentos De La Comprensión Lectora .....	20
2.4 Déficit cognitivo .....	22
2.5 Tecnologías para integración: Inteligencia Artificial generativa .....	22
2.6 Estado del Arte .....	23
2.7 Trabajos Relacionados.....	24

2.7.1 Análisis Comparativo de Sistemas Existentes.....26

**Capítulo 3. Modelo Arquitectural propuesto.....28**

3.1 La comprensión lectora como base del aprendizaje significativo .....31

3.2 Tecnología como medio para la inclusión educativa.....31

3.3 Fomento del pensamiento crítico y la autonomía.....33

3.4 Apoyo docente y evaluación formativa basada en evidencia .....33

3.5 Componentes Clave de la Arquitectura .....35

3.6 Capas de la Arquitectura.....36

3.6.1 Capa de Interfaz de Usuario .....36

3.6.2 Capa de Servicios .....37

3.6.3 Capa de Información y Modelos de AI .....38

3.7 Proceso Metodológico de Implementación .....38

3.7.1 Marco Metodológico .....39

3.7.2 Descripción de Fases Metodológicas .....39

**Capítulo 4. Desarrollo Tecnológico.....43**

4.1 Contexto del Caso de Estudio.....43

4.1.1 Barreras de Acceso Educativo.....45

4.1.2 Desafíos en el Proceso de Aprendizaje.....45

4.1.3 Limitaciones Tecnológicas Específicas.....46

4.2 Cómo las Pautas E2R Mejoran la Comprensión Lectora .....47

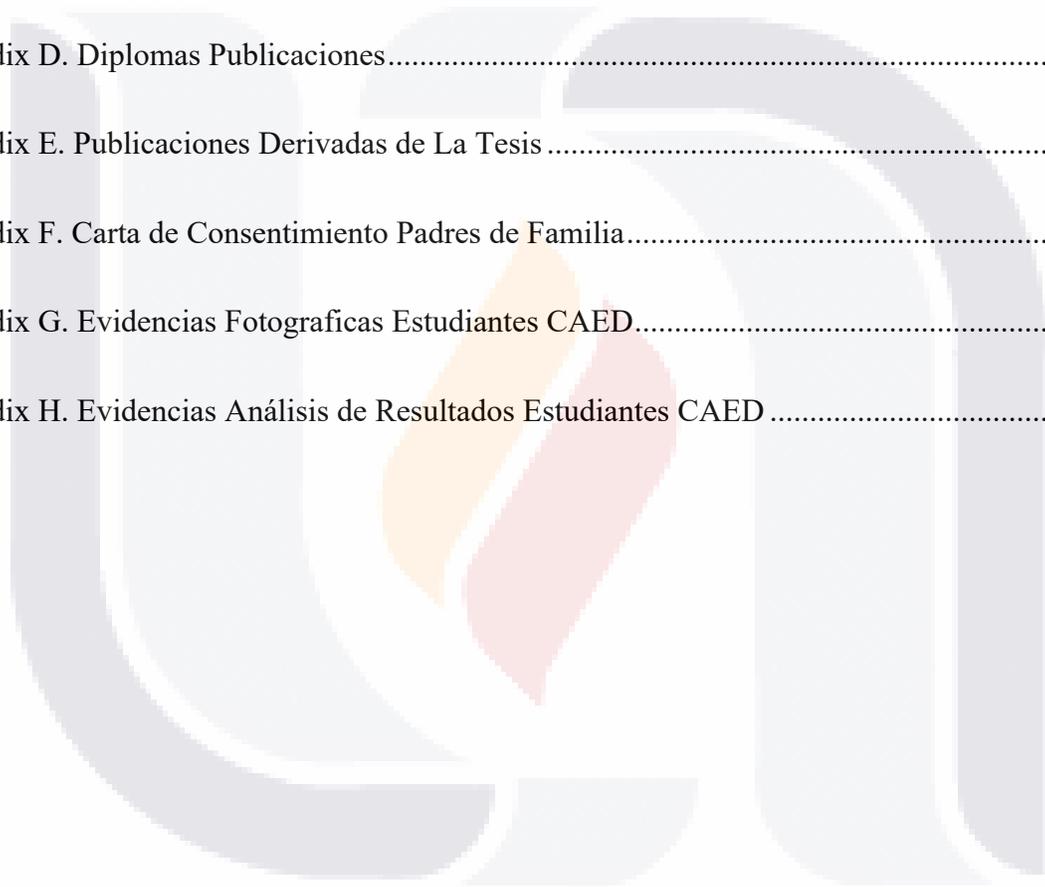
4.3 Técnicas Easy-to-Read (E2R): Fundamentación y Selección .....48

4.4 GenAI y Comprensión Lectora.....49

4.5	User Persona – Perfil de Alex González .....	51
4.5.1	Necesidades Específicas de Alex .....	52
4.5.2	Objetivos y Aspiraciones.....	53
4.5.3	Preferencias de Interacción.....	53
4.6	Implementación de la Arquitectura .....	58
4.6.1	Canal de Entrada.....	58
4.6.2	Canal de Salida .....	58
4.7	Sistema de Comprensión Lectora .....	59
4.7.1	Interfaces de Usuario .....	59
4.8	Motor de Inteligencia Artificial.....	62
4.8.1	Arquitectura Simplificada del Motor.....	62
4.8.2	Componente de Análisis y Preparación.....	63
4.8.3	Componente de Transformación con LLM .....	64
4.8.4	Algoritmo de Funcionamiento Integral .....	64
4.8.5	Ejemplos de Procesamiento por Tipo de Discapacidad.....	65
	Procesamiento para Discapacidad Visual (Alex): .....	65
4.8.6	Procesamiento para Discapacidad Cognitiva: .....	66
4.8.7	Mecanismos de Mejora y Retroalimentación .....	66
4.8.8	Integración con el Sistema de Preferencias .....	67
<b>Capítulo 5. Evaluación y Resultados.....</b>		<b>68</b>
5.1	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	70
5.1.1	Diseño del Estudio.....	70
5.1.2	Participantes Evaluadores.....	73

5.1.3	Instrumentos de Medicion de la Comprensión Lectora.....	76
5.1.4	Medición de la Comprehension Lectora.....	79
5.1.5	Instrumentos de Medición .....	79
5.2	Análisis de Resultados.....	83
5.2.1	Análisis Descriptivo General.....	83
5.2.2	Análisis por Dimensiones.....	84
5.2.3	Análisis de Correlaciones entre Dimensiones .....	86
5.2.4	Segmentación de Usuarios.....	87
5.2.5	Análisis de Ítems Críticos.....	88
5.2.6	Análisis Detallado por Preguntas .....	89
5.2.7	Confiabilidad del Instrumento.....	90
5.2.8	Implicaciones para el Diseño y Desarrollo.....	90
5.2.9	Conclusiones del Análisis.....	91
5.2.10	Métricas de Rendimiento Técnico.....	91
5.3	Comparativa ante otros Sistemas.....	95
5.4	Discusión .....	97
5.4.1	Interpretación de Resultados .....	97
5.4.2	Implicaciones Practicas .....	98
5.4.3	Limitaciones .....	100
<b>Capítulo 6. Conclusiones y Trabajo Futuro.....</b>		<b>103</b>
6.1	Conclusiones.....	103
6.2	Contribuciones Principales.....	104
6.3	Trabajo Futuro .....	104

Glosario de Acrónimos.....	105
Bibliografía.....	107
Appendix A. Encuesta.....	115
Appendix B. Reuniones de Trabajo.....	119
Appendix C. Diplomas Eventos.....	120
Appendix D. Diplomas Publicaciones.....	121
Appendix E. Publicaciones Derivadas de La Tesis.....	124
Appendix F. Carta de Consentimiento Padres de Familia.....	126
Appendix G. Evidencias Fotograficas Estudiantes CAED.....	128
Appendix H. Evidencias Análisis de Resultados Estudiantes CAED.....	130



**LISTA DE FIGURAS**

**Figura 1.** *Modelo arquitectónico con IA Generativo para Adaptación de Contenidos para Lectura Fácil.* .....32

**Figura 2.** *Arquitectura para el acceso a contenidos adaptados.* .....36

**Figura 3.** *Proceso Metodológico de Implementación.*.....39

**Figura 4.** *Interfaces de Inicio de Sesión, Cursos y Lecciones.* .....60

**Figura 5.** *Interfaces de Contenido Personalizado, Perfil y Preferencias de Aprendizaje*61

**Figura 6.** *Interfaces de Contenido de Lecciones, Cuestionarios y Retroalimentación* ....62

**Figura 7.** *(A) Contenido original sin E2R (B) Contenido personalizado adaptado para el usuario utilizando las pautas E2R.* .....69

**Figura 8.** *Apoyo Visual de Contenido*.....70

**Figura 9.** *Distribución global de respuestas. El gráfico muestra una clara tendencia hacia valoraciones positivas, con más del 60% de respuestas favorables, evidenciando una percepción generalmente satisfactoria del sistema evaluado.* .....84

**Figura 10.** *Gráfico radar de evaluación por dimensiones. La figura ilustra el desempeño desigual entre las cinco dimensiones evaluadas, destacando la Navegabilidad como el aspecto mejor valorado (4.22/5) y el Soporte como el que requiere mayor atención (3.22/5).* .....85

**Figura 11.** *Mapa de correlaciones entre dimensiones. El gráfico de correlación muestra la fuerte relación entre los aspectos Visuales y la Satisfacción ( $r=0.52$ ), así como entre Navegabilidad y Soporte ( $r=0.64$ ), evidenciando la interdependencia de estos factores en la experiencia del usuario.* .....87

**Figura 12.** *Segmentación de usuarios mediante análisis de clústeres. La visualización muestra la distribución de los tres perfiles de usuario identificados, destacando el Clúster 3 como el grupo mayoritario (55.6%) con valoraciones consistentemente altas en casi todas las dimensiones.* .....88

**Figura 13.** *Distribución de respuestas por pregunta. El gráfico de barras muestra la variabilidad en las respuestas para cada ítem evaluado, destacando especialmente la*

*dispersión en las valoraciones de Colores y contraste (Q5), Sistema de ayuda (Q8) y Claridad del texto (Q1).....89*

**Figura 14.** *Mapa de calor de evaluaciones por participante. Esta visualización permite identificar patrones de respuesta individuales, revelando que algunos participantes (P5, P8) tienden a ser consistentemente positivos, mientras otros (P7, P4) muestran mayor variabilidad en sus evaluaciones según el aspecto evaluado.....90*



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Comparativa de Sistemas en Trabajos Similares.</i> .....	27
<b>Tabla 2.</b> <i>Enfoques de Lectura Fácil</i> .....	49
<b>Tabla 3.</b> <i>Variables para Generación de Recomendación.</i> .....	54
<b>Tabla 4.</b> <i>Perfiles Generales de Estudiantes Participantes</i> .....	74
<b>Tabla 5.</b> <i>Prompts para Generación de Preguntas de Opción Múltiple por Nivel</i> .....	77
<b>Tabla 6.</b> <i>Comparativa con Software Comercial</i> .....	96
<b>Tabla 7.</b> <i>Glosario de Acrónimos</i> .....	106



## RESUMEN

Esta tesis aborda la problemática de la limitada accesibilidad de contenidos de comprensión lectora para estudiantes con discapacidades en el Centro de Atención para Estudiantes con Discapacidad (CAED), un desafío que afecta directamente la educación inclusiva. Se propone el diseño y validación de un **modelo arquitectónico de software que integra inteligencia artificial generativa** para la adaptación automatizada y personalizada de materiales educativos. El objetivo principal es mejorar significativamente la accesibilidad y efectividad del aprendizaje para estudiantes con diversas necesidades, liberando a los docentes de la carga manual de adaptación y asegurando la coherencia y calidad de los materiales. La arquitectura propuesta, fundamentada en un Gran Modelo de Lenguaje, un Agente LangChain, un Kit de Servicios Cognitivos y una Base de Datos Vectorial, busca transformar contenidos originales en formatos de "Lectura Fácil" siguiendo la norma UNE 153101:2018 EX. La investigación detalla la especificación de componentes, la implementación de mecanismos de integración, el desarrollo de casos de uso específicos en comprensión lectora, y la ejecución de pruebas de usabilidad y funcionalidad con usuarios en el contexto del CAED. Este trabajo representa una contribución significativa al campo de la tecnología educativa inclusiva, ofreciendo una solución escalable y eficiente para la adaptación de contenidos.

## ABSTRACT

This thesis addresses the critical challenge of limited accessibility to reading comprehension content for students with disabilities at the Center for Attention for Students with Disabilities (CAED), a issue directly impacting inclusive education. It proposes the design and validation of an **software architectural model that integrates generative artificial intelligence** for the automated and personalized adaptation of educational materials. The primary objective is to significantly enhance the accessibility and effectiveness of learning for students with diverse needs, alleviating the manual burden on educators for content adaptation and ensuring the consistency and quality of adapted materials. The proposed architecture, built upon a Large Language Model, a LangChain Agent, a Cognitive Services Kit, and a Vector Database, aims to transform original content into "Easy-to-Read" formats, adhering to the UNE 153101:2018 EX standard. The research details the specification of architectural components, the implementation of integration mechanisms, the development of specific use cases in reading comprehension, and the execution of usability and functionality tests with users within the CAED context. This work represents a significant contribution to the field of inclusive educational technology, offering a scalable and efficient solution for content adaptation.

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La educación inclusiva constituye uno de los pilares fundamentales para garantizar la equidad en el acceso al conocimiento, especialmente cuando se trata de estudiantes con discapacidades (Educación, 2022). El presente trabajo aborda esta problemática desde una perspectiva tecnológica innovadora, proponiendo una arquitectura de software basada en inteligencia artificial generativa que transforme la manera en que adaptamos los contenidos de comprensión lectora.

Esta investigación nace de la observación directa de las necesidades específicas de los estudiantes de nivel bachillerato, quienes enfrentan barreras significativas en su proceso de aprendizaje debido a la falta de herramientas adaptativas verdaderamente personalizadas. Ante este panorama, planteamos un diseño arquitectónico modular que no solo responda a las diversas discapacidades y ritmos de aprendizaje, sino que evolucione continuamente mediante mecanismos de retroalimentación.

La construcción de una arquitectura de software utilizando la inteligencia artificial generativa orientada a la educación inclusiva requiere una aproximación intrínsecamente multidisciplinaria. Esta necesidad surge tanto de la complejidad técnica del sistema como de la diversidad de necesidades de los estudiantes con discapacidades. Como han señalado (Holmes et al., 2019), los enfoques interdisciplinarios son esenciales para diseñar tecnologías educativas efectivas que respondan a contextos reales y diversos.

Desde el campo de la Ciencia de la Computación y la Ingeniería de Software, el aporte se centra en el desarrollo de una arquitectura modular, escalable y segura. Esto incluye la implementación de algoritmos de IA generativa, técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP), y el diseño de interfaces accesibles que cumplan con los estándares internacionales como WCAG 2.1 (*Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*, 2018). Asimismo, es fundamental la integración efectiva de las capas de presentación, servicios e información, y la implementación de mecanismos robustos para la protección de datos personales, en concordancia con normativas como el RGPD.

En cuanto a las Ciencias de la Educación y la Pedagogía, estas disciplinas aportan el marco conceptual para definir objetivos de aprendizaje, competencias clave y principios de adaptación

curricular bajo el enfoque de la Lectura Fácil. También contribuyen en el diseño de metodologías evaluativas inclusivas, que consideran distintas formas de expresión del conocimiento, como sugiere (Rose & Meyer, 2006) en el marco del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA). La asesoría pedagógica es esencial para asegurar que las herramientas tecnológicas no sólo sean accesibles, sino también didácticamente efectivas.

La Psicología Cognitiva ofrece conocimientos fundamentales sobre los procesos mentales que intervienen en la comprensión lectora, la atención y la memoria de trabajo. Este enfoque permite diseñar contenidos adaptados que minimicen la carga cognitiva y optimicen la asimilación del conocimiento (Sweller, 1988). Además, la generación de perfiles cognitivos posibilita una personalización más precisa de los contenidos, mejorando así la adecuación individual del entorno educativo.

El papel de la Lingüística y la Comunicación es clave para garantizar la fidelidad semántica de los textos adaptados. Esto implica establecer pautas para la simplificación textual, manteniendo la esencia del contenido, así como desarrollar métricas de legibilidad específicas para el español. También se requiere una adaptación pragmática y sociolingüística, de modo que los textos sean cultural y contextualmente pertinentes (Plain Language Action and Information Network, 2011).

Desde el ámbito del Diseño Gráfico y la Experiencia de Usuario, se propone la creación de interfaces visuales accesibles, intuitivas y estéticamente agradables. Los principios del diseño universal se aplican en la elaboración de sistemas de navegación y en la incorporación de elementos gráficos que refuercen la comprensión, especialmente para estudiantes con discapacidades visuales, cognitivas o motrices (Gordon, 2024).

La dimensión Ética y Legal se manifiesta en la necesidad de garantizar el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales sobre accesibilidad digital (como la norma UNE 153101:2018 EX). Asimismo, se deben considerar las implicaciones éticas del uso de inteligencia artificial, incluyendo la prevención de sesgos algorítmicos y el tratamiento responsable de datos sensibles (Jobin et al., 2019).

Por último, la Estadística y la Ciencia de Datos permiten monitorear y validar la efectividad del sistema mediante el análisis cuantitativo de datos de uso. Esto incluye la definición de indicadores

de desempeño, análisis de interacción de usuarios, y validación estadística de mejoras a lo largo del tiempo (Ferguson, 2012). De este modo, se asegura un proceso continuo de mejora basado en evidencia.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudiantes del CAED enfrentan desafíos específicos en su proceso de comprensión lectora debido a la diversidad de discapacidades, los distintos ritmos de aprendizaje y las limitaciones en la adaptabilidad de los contenidos educativos convencionales. Esta problemática se enmarca en un contexto más amplio de inequidad educativa, donde según la UNICEF (2021), aproximadamente 240 millones de niños y jóvenes con discapacidades en todo el mundo enfrentan barreras significativas para acceder a una educación de calidad (UNICEF, 2021).

En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía reporta que el 7.2% de la población presenta algún tipo de discapacidad, de los cuales únicamente el 46% de las personas en edad escolar con discapacidad asisten a instituciones educativas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2024). Esta brecha se amplifica en el nivel medio superior, donde el porcentaje de estudiantes con discapacidades alcanza el 12.9%, comparado con el 25.4% de la población general (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2024).

Los sistemas actuales de adaptación de contenidos carecen de una arquitectura robusta que permita la personalización avanzada, limitando así la inclusión y el acceso efectivo al aprendizaje. Además, las adaptaciones curriculares requieren que los docentes dediquen tiempo adicional a la contextualización y ajuste de los contenidos y metodologías, respondiendo a las necesidades educativas especiales de sus estudiantes (Estévez Arias et al., 2022).

Entre las principales áreas problemáticas se identifican:

- **Limitaciones en la integración de IA adaptada a necesidades específicas de discapacidad:** Los sistemas actuales no aprovechan plenamente la IA generativa para ajustar los contenidos de manera personalizada y sensible a las discapacidades.

- **Escalabilidad y adaptabilidad del contenido:** El sistema debe ser capaz de gestionar y adaptar contenidos de distintos niveles de complejidad y temas, respondiendo a las variadas necesidades cognitivas de los estudiantes.
- **Retroalimentación para mejora continua:** Es necesario implementar un sistema de retroalimentación y monitoreo que permita la adaptación continua del contenido a medida que los estudiantes progresan.
- **Personalización avanzada basada en perfiles de estudiantes:** Cada estudiante del CAED tiene un perfil único, lo que requiere un sistema que adapte el contenido en función de sus capacidades, limitaciones y preferencias de aprendizaje.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo parte del reconocimiento de una necesidad relevante en el ámbito de la educación inclusiva: la limitada disponibilidad de contenidos de comprensión lectora adaptados a las características cognitivas y comunicativas de estudiantes con discapacidad. Desde una perspectiva tecnológica, se plantea el diseño de una arquitectura de software que explore el potencial de la inteligencia artificial generativa para apoyar en la personalización de dichos contenidos.

El desarrollo de esta arquitectura busca contribuir al fortalecimiento de enfoques inclusivos mediante herramientas que faciliten la adaptación de materiales educativos. Aunque no pretende ofrecer una solución definitiva al conjunto de desafíos existentes, sí representa un avance hacia la integración de tecnologías emergentes en procesos de enseñanza más accesibles y adaptables.

Entre las razones que respaldan esta iniciativa, destacan las siguientes:

- **Atención a una necesidad específica en el ámbito de la discapacidad:** Los estudiantes del CAED enfrentan retos particulares que requieren adaptaciones pedagógicas personalizadas. Esta propuesta explora cómo la IA generativa puede contribuir a una mejor adecuación de los contenidos, considerando la diversidad en el procesamiento cognitivo.
- **Mejora potencial en la forma de adaptar los materiales:** A diferencia de las adaptaciones tradicionales, centradas mayormente en lo visual (como imágenes, íconos o textos simplificados), la arquitectura propuesta contempla la inclusión de elementos

multimedia, voz y componentes interactivos, que podrían enriquecer la experiencia de aprendizaje.

- **Escalabilidad en la adaptación de contenidos:** Adaptar manualmente los materiales puede ser un proceso lento y limitado en alcance. El uso de IA permitiría explorar formas más eficientes de generar versiones accesibles de contenidos, ampliando así el acceso a materiales educativos.
- **Apoio a la labor docente:** La generación automatizada de textos en formato de Lectura Fácil podría representar un recurso complementario para los docentes, ayudando a reducir el tiempo invertido en tareas de adaptación sin sustituir su criterio profesional.
- **Consistencia basada en estándares:** Las adaptaciones manuales suelen implicar cierto grado de subjetividad. Esta propuesta toma como referencia normas reconocidas, como la UNE 153101:2018 EX, con el fin de guiar el diseño de materiales claros y coherentes.
- **Valor como modelo referencial:** La arquitectura propuesta no pretende ser una solución única, sino una posible referencia para futuras iniciativas que busquen integrar inteligencia artificial en sistemas educativos con enfoque inclusivo.

### 1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

#### 1.3.1 *Objetivo General*

Diseñar y validar una arquitectura de software usando IA generativa para la adaptación automatizada y personalizada de contenidos de comprensión lectora, dirigida a mejorar la accesibilidad y efectividad de la educación para estudiantes con discapacidades en el CAED.

#### 1.3.2 *Objetivos Específicos*

1. **Analizar** y **especificar** los componentes arquitectónicos necesarios para facilitar la generación y adaptación de contenido enfocado en la comprensión lectora, considerando la accesibilidad y la inclusión.
  - **Indicador:** Documento de especificación arquitectónica con al menos 3 capas definidas (presentación, servicios, datos) y 5 componentes principales identificados y documentados.

2. **Implementar** mecanismos de integración entre módulos de generación y adaptación para establecer un flujo eficiente de comunicación entre los módulos de IA, asegurando que el contenido generado responda a las necesidades específicas de discapacidades.
- **Indicador:** Prototipo funcional con interfaces integradas, valoración de usabilidad  $\geq 3.5/5$  en aspectos técnicos, y compatibilidad demostrada con al menos 3 perfiles de usuario diferentes.
3. **Desarrollar y validar** casos de uso específicos en comprensión lectora que evalúen la calidad de adaptación y el impacto en la experiencia de usuario.
- **Indicador:** Al menos 3 casos de uso implementados y probados, con valoración  $\geq 3.5/5$  en legibilidad y satisfacción general  $\geq 60\%$  de respuestas favorables.
4. **Ejecutar** pruebas de usabilidad y funcionalidad en el contexto de CAED con usuarios diversos para validar la efectividad del sistema.
- **Indicador:** Sistema evaluado por al menos 9 participantes, con coeficiente de confiabilidad  $\geq 0.7$  y identificación de perfiles diferenciados de usuarios.

#### 1.4 HIPÓTESIS

La aplicación de inteligencia artificial generativa para implementar automáticamente las pautas de Lectura Fácil (norma UNE 153101:2018 EX) en materiales educativos digitales mejorará la comprensión lectora de estudiantes con discapacidad del CAED.

#### 1.5 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son los componentes arquitectónicos indispensables para un sistema de adaptación de contenidos de comprensión lectora para estudiantes del CAED?
2. ¿Cómo se debe estructurar la interacción entre módulos de IA para responder a las necesidades específicas de los estudiantes con discapacidades?
3. ¿Qué elementos de ingeniería de software optimizan el rendimiento y escalabilidad en un sistema de adaptación inclusivo?

4. ¿Cómo se puede asegurar la extensibilidad de la arquitectura para incluir futuras innovaciones en IA generativa?

## 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

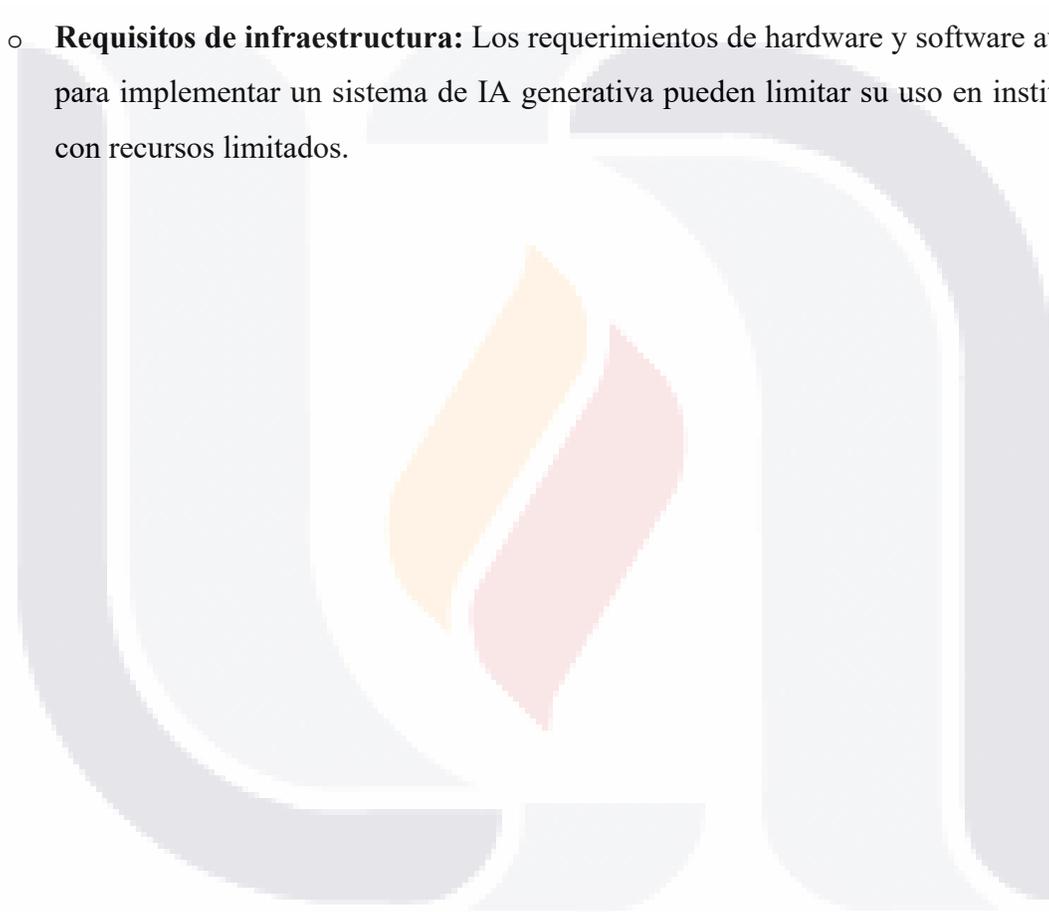
- **Enfoque:**

- Diseño y especificación de la arquitectura de software orientada a la comprensión lectora.
- Definición de protocolos de comunicación y estándares de accesibilidad.
- Implementación de una prueba de concepto en un entorno representativo del CAED.
- Desde las Ciencias de la Computación, se abordará el desarrollo de:
  - Arquitectura multicapa que integre LLMs y servicios cognitivos optimizados para el español.
  - Adaptación automática basados en la norma UNE 153101:2018 EX para Lectura Fácil.
  - Mecanismos de Retrieval Augmented Generation (RAG) para potenciar la contextualización del contenido.
  - Interfaces programáticas (APIs) que faciliten la comunicación entre los componentes del sistema.
  - Bases de datos vectoriales para almacenamiento eficiente de representaciones semánticas de contenidos.
  - Sistemas de retroalimentación automatizada con capacidad de aprendizaje continuo.

- **Limitaciones:**

- **Restricciones tecnológicas actuales:** La capacidad de la IA generativa está en evolución, lo que podría limitar su efectividad en ciertas adaptaciones específicas.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- **Complejidad en la integración de modelos IA:** Un sistema inclusivo requiere de múltiples modelos especializados que respondan a discapacidades variadas, lo que agrega complejidad a la arquitectura.
  - **Consideraciones de latencia y rendimiento:** La respuesta rápida es clave para la experiencia del usuario, especialmente en plataformas educativas donde la fluidez en el contenido es fundamental.
  - **Requisitos de infraestructura:** Los requerimientos de hardware y software avanzado para implementar un sistema de IA generativa pueden limitar su uso en instituciones con recursos limitados.



## Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ADAPTABILIDAD DE CONTENIDOS EDUCATIVOS

La Adaptabilidad de Contenidos Educativos se refiere a la capacidad de ajustar dinámicamente el material de aprendizaje para satisfacer las necesidades individuales de los estudiantes. En el contexto de la ingeniería de sistemas educativos adaptativos, el papel de la adaptación en los sistemas de aprendizaje electrónico destaca que la fuente de adaptación (alumno, entorno o dispositivo) está conectada a los objetivos del sistema. Si la atención se centra en el alumno, características como la información personal, el estilo de aprendizaje, los objetivos y las preferencias se vuelven cruciales y se resumen en el modelo del alumno, que es un componente esencial para que cada sistema de aprendizaje electrónico sea adaptativo (Brusilovsky & Millán, 2007). La elección de las características depende de si el sistema es estático o dinámico. En un sistema estático, el mecanismo de adaptación es tradicional y utiliza características predefinidas por el alumno durante el uso inicial del sistema, incluida información personal, estilo de aprendizaje, objetivos y preferencias (Vandewaetere et al., 2011). Esta configuración ocurre antes de que comience el proceso de aprendizaje.

Sin embargo, la adaptación dinámica requiere un proceso de interacción entre el usuario y el sistema. En este caso es necesario el uso de características dinámicas actualizadas en tiempo real. Ejemplos de características dinámicas incluyen habilidades, emociones, nivel de conocimiento, historia, navegación y resultados de pruebas (Verbert et al., 2012) (Al-Hmouz et al., 2010). La diferencia entre características estáticas y dinámicas radica en su duración de uso. Las características estáticas se utilizan a largo plazo porque representan información general, mientras que las características dinámicas se utilizan a corto plazo debido a su naturaleza cambiante, específica e interactiva.

Este enfoque permite personalizar la experiencia de aprendizaje, brindando a cada estudiante un camino único que se adapte a sus habilidades y preferencias. La adaptabilidad de contenidos educativos es fundamental para fomentar un entorno inclusivo y facilitar el acceso equitativo al conocimiento.

## 2.2 COMPRENSIÓN LECTORA Y LECTURA FÁCIL

La comprensión lectora constituye una habilidad esencial para el aprendizaje autónomo, crítico y significativo. En entornos educativos inclusivos, esta competencia reviste especial importancia, ya que muchos estudiantes con discapacidad cognitiva, intelectual o lingüística enfrentan obstáculos para procesar y extraer significado del texto escrito. Diversos estudios señalan que comprender un texto implica una serie de procesos cognitivos complejos como la decodificación, la inferencia, la memoria de trabajo y la autorregulación metacognitiva (Canet-Juric et al., 2009), lo cual demanda un enfoque pedagógico sensible a la diversidad funcional.

En este contexto, la Lectura Fácil (LF) surge como una estrategia de accesibilidad cognitiva que promueve el derecho a la información comprensible. Su desarrollo está regulado por la norma UNE 153101:2018 EX<sup>1</sup>, la cual establece pautas formales y lingüísticas para la elaboración de documentos accesibles.

La integración de estos principios en el diseño de arquitecturas tecnológicas adaptativas, como la propuesta en este estudio, permite automatizar la personalización de contenidos educativos para estudiantes con diferentes capacidades. Así, se contribuye a una educación más equitativa y alineada con los compromisos internacionales por la inclusión, como los establecidos por la UNESCO, que considera la comprensión lectora un componente esencial para alcanzar una educación de calidad para todos (Educación, 2022).

## 2.3 FUNDAMENTOS DE LA COMPRENSIÓN LECTORA

La comprensión lectora es un proceso activo y jerárquico mediante el cual el lector construye significado al integrar la información explícita del texto con sus conocimientos previos. Según Cooper (Cooper, 1998), se trata del “proceso de elaborar significados mediante el aprendizaje de las ideas relevantes de un texto y su relación con los conceptos previos del lector”. Esta concepción

---

<sup>1</sup> **Norma UNE 153101:2018 EX - Lectura Fácil:** Esta norma española establece tres niveles progresivos de validación para garantizar la comprensibilidad de los textos: **Nivel A (Validación automática)** mediante herramientas informáticas que verifican criterios básicos como longitud de frases y vocabulario simple; **Nivel B (Validación por expertos)** realizada por profesionales en comunicación accesible que evalúan aspectos lingüísticos y estructurales más complejos; y **Nivel C (Validación con personas usuarias)** donde el texto es revisado directamente por personas con dificultades de comprensión lectora, garantizando así su efectividad real. Esta metodología de validación múltiple asegura que los contenidos adaptados sean verdaderamente accesibles para su población objetivo.

ha sido ampliamente adoptada en la literatura especializada y sirve como base para establecer niveles progresivos de comprensión: literal, inferencial y crítico.

*a) Nivel Literal (Básico)*

El nivel literal se refiere a la capacidad de identificar y recuperar información explícita del texto, como hechos, nombres, lugares, fechas o conceptos clave claramente expresados. Constituye la base para los niveles posteriores, pues permite al lector construir una representación fiel y superficial del contenido textual (Durán, 2019) (Pressley, 2000). En contextos educativos inclusivos, como los Centros de Atención para Estudiantes con Discapacidad (CAED), este nivel es especialmente relevante, ya que constituye el primer peldaño hacia la autonomía lectora. La aplicación de estrategias E2R en este nivel —como el uso de lenguaje directo, oraciones simples y segmentación clara— facilita una decodificación más accesible del texto y reduce la carga cognitiva inicial.

*b) Nivel Inferencial (Intermedio)*

El nivel inferencial implica la capacidad de deducir información no explícita, establecer relaciones causales, anticipar consecuencias y comprender las intenciones del autor. Esta competencia requiere que el lector vaya más allá del texto, activando estructuras cognitivas que le permitan interpretar y conectar la información (Durán, 2019). Para estudiantes del CAED, este nivel demanda un proceso de andamiaje pedagógico que puede ser facilitado por el formato E2R mediante elementos como iconos, ayudas visuales y conectores lógicos explícitos. Estos recursos apoyan la transición desde el reconocimiento literal hacia la inferencia y la elaboración de hipótesis interpretativas.

*c) Nivel Crítico (Avanzado)*

Finalmente, el nivel crítico implica la evaluación reflexiva del contenido, la integración con conocimientos previos y la formulación de juicios u opiniones fundamentadas. Se trata de una competencia de orden superior que requiere habilidades metacognitivas, análisis del discurso y discernimiento argumentativo. Martínez (Martínez, 2015) indica que este nivel “supone la capacidad del lector para adoptar una postura crítica ante el texto, valorando su pertinencia,

coherencia y validez”. En el entorno CAED, el desarrollo de este nivel constituye una meta a largo plazo que debe trabajarse mediante exposiciones guiadas, preguntas abiertas y actividades que promuevan el pensamiento crítico adaptado a las capacidades del lector.

## 2.4 DÉFICIT COGNITIVO

El "Déficit cognitivo" es un término inclusivo utilizado para describir el deterioro de diferentes dominios de la cognición (Dhakal & Bobrin, 2025), como la memoria, la atención o el razonamiento lógico, que pueden afectar el proceso de aprendizaje de un individuo. En el contexto educativo, la identificación y comprensión de los déficits cognitivos de los estudiantes son cruciales para diseñar intervenciones educativas efectivas y adaptativas. La ingeniería de sistemas educativos puede aprovechar la información sobre déficits cognitivos para personalizar los prompts y los contenidos educativos, proporcionando un apoyo específico que aborda las necesidades únicas de cada estudiante.

## 2.5 TECNOLOGIAS PARA INTEGRACION: INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

En los últimos años, los Large Language Models han surgido como herramientas potentes, capaces de realizar diversas tareas a través de arquitecturas de redes neuronales profundas entrenadas en texto extenso (Wilcox et al., 2020). Estos modelos, clasificados en representaciones paramétricas y no paramétricas, exhiben una notable eficiencia en la codificación del conocimiento. Al mismo tiempo, Azure Cognitive Services proporciona un conjunto de modelos de IA prediseñados a los que se puede acceder a través de puntos finales de API REST, lo que facilita una integración perfecta en las aplicaciones.

En este contexto, LangChain (*LangChain*, 2022) surge como un marco liviano diseñado para agilizar la integración de modelos de lenguaje grande en aplicaciones. Al proporcionar componentes y herramientas prediseñadas, LangChain simplifica el proceso de aprovechar los LLM para diversas tareas. Técnicas como el aprendizaje Zero-Shot, Chain of Thought (Wei et al., 2023) y ReAct (Yao et al., 2023) mejoran las capacidades de los LLM, permitiéndoles realizar tareas sin ejemplos específicos, guiando sus procesos de razonamiento y refinando sus habilidades a través de ciclos de retroalimentación iterativos.

La arquitectura propuesta, que comprende tres capas (interfaz de usuario, servicios y modelos de información e inteligencia artificial), está preparada para ofrecer experiencias de aprendizaje personalizadas adaptadas a las necesidades y preferencias individuales de los estudiantes, mejorando así la accesibilidad en la adaptación del contenido educativo.

## 2.6 ESTADO DEL ARTE

Investigaciones previas han demostrado el potencial de la IA en la personalización del aprendizaje. Sin embargo, la aplicación específica de IA generativa para la creación de contenidos educativos inclusivos es un área emergente con resultados prometedores pero limitados.

El panorama actual de las tecnologías adaptativas para estudiantes con discapacidades muestra una evolución significativa en los últimos cinco años. Estudios recientes han comenzado a explorar la intersección entre los modelos de lenguaje grandes y las necesidades educativas especiales, con particular énfasis en la adaptación de contenidos para mejorar la comprensión lectora.

Holmes et al. (Holmes et al., 2022) han analizado sistemas adaptativos que utilizan IA para proporcionar retroalimentación personalizada a estudiantes con dificultades de aprendizaje, logrando mejoras significativas en la comprensión lectora cuando se adaptan los textos a las capacidades cognitivas individuales. No obstante, estos sistemas aún presentan limitaciones importantes en cuanto a su capacidad para preservar el contenido semántico original mientras simplifican la estructura sintáctica.

Las arquitecturas modulares para sistemas educativos adaptativos representan un enfoque prometedor, como lo demuestra el trabajo de Nye et al. (Nye et al., 2018), quienes proponen una estructura que separa la generación de contenido, la adaptación y la evaluación en componentes independientes pero interconectados. Este enfoque permite mayor flexibilidad y personalización, aunque su implementación práctica en entornos educativos reales sigue siendo limitada.

En cuanto a la personalización avanzada, los modelos generativos basados en IA han comenzado a mostrar resultados prometedores en la creación de experiencias educativas altamente individualizadas. Kasneci et al. (Kasneci et al., 2023) han explorado el uso de modelos de lenguaje

grandes para generar explicaciones adaptadas a diferentes estilos de aprendizaje, aunque señalan preocupaciones sobre la consistencia y precisión del contenido generado.

A pesar de estos avances, persiste una brecha significativa en la literatura actual: la ausencia de arquitecturas específicamente diseñadas para integrar capacidades de IA generativa en sistemas educativos para estudiantes con discapacidades cognitivas específicas. Nuestra investigación busca abordar esta brecha mediante el desarrollo de una arquitectura de referencia que pueda ser implementada en contextos educativos reales como el CAED.

## 2.7 TRABAJOS RELACIONADOS

El campo de las tecnologías adaptativas para estudiantes con discapacidades ha experimentado una evolución significativa, como lo evidencian múltiples investigaciones sistemáticas. Blackhurst (Blackhurst, 2005) examina diferentes perspectivas sobre las aplicaciones tecnológicas en el campo de las discapacidades de aprendizaje, identificando un cambio notable hacia tecnologías más inclusivas y adaptativas. Esta evolución representa un movimiento desde herramientas especializadas diseñadas exclusivamente para personas con discapacidades hacia una comprensión más amplia de las tecnologías facilitadoras que pueden apoyar a individuos con diversas necesidades, habilidades y contextos, como lo señala Edyburn (Edyburn, 2010) en su análisis de las nuevas direcciones para el Diseño Universal para el Aprendizaje.

Rose et al. (Rose et al., 2005) establecen una conexión fundamental entre la tecnología asistiva y el Diseño Universal para el Aprendizaje (UDL), describiéndolos como "dos caras de la misma moneda" y proporcionando un marco conceptual para entender su complementariedad. McGuire et al. (McGuire et al., 2006) examinan en profundidad las aplicaciones del Diseño Universal en entornos educativos, explicando cómo los principios se basan en la comprensión de las redes neurológicas involucradas en el aprendizaje: la red de reconocimiento (el "qué"), la red estratégica (el "cómo") y la red afectiva (el "por qué"), estableciendo la necesidad de proporcionar "múltiples medios de representación, acción, expresión y compromiso".

La integración de tecnología asistiva con los principios del UDL ha demostrado un impacto transformador en la creación de entornos de aprendizaje inclusivos. Burgstahler (Burgstahler, 2011) proporciona un marco práctico para implementar el diseño universal en educación

informática, destacando cómo esta integración puede superar barreras específicas al aprendizaje cuando se aplica sistemáticamente en entornos tecnológicos. Baker (Baker, 2016) ofrece una perspectiva crítica sobre los sistemas de tutoría inteligente, argumentando que el verdadero valor de estos sistemas radica en su capacidad para complementar, no reemplazar, la inteligencia humana en el proceso educativo.

Los sistemas adaptativos impulsados por IA representan un avance significativo en este campo. Holstein et al. (Holstein et al., 2019) presentan un enfoque de co-diseño para herramientas de orquestación en el aula en tiempo real, destacando la importancia de la complementariedad entre docentes e IA. Investigaciones recientes han demostrado que "los sistemas adaptativos impulsados por IA utilizan algoritmos que evalúan los datos de rendimiento de los estudiantes en tiempo real, ajustando automáticamente el plan de estudios y el ritmo según las necesidades individuales, identificando brechas de conocimiento y proporcionando retroalimentación personalizada" (Zawacki-Richter et al., 2019).

Conati et al. (Conati et al., 2018) subrayan la necesidad crítica de aprendizaje automático interpretable en la IA educativa, argumentando que la transparencia en los modelos es esencial para que los sistemas adaptativos sean efectivos y éticamente responsables. Esta perspectiva es complementada por Dillenbourg (Dillenbourg, 2016), quien analiza la evolución de la investigación en educación digital y señala que "la personalización impulsada por IA representa un cambio de paradigma en educación, permitiendo transitar de un modelo de talla única a experiencias de aprendizaje verdaderamente individualizadas".

Un hallazgo crucial revelado por Zawacki-Richter et al. (Zawacki-Richter et al., 2019) es la "necesidad urgente de involucrar a educadores y especialistas en necesidades especiales en el diseño e implementación de sistemas de IA educativa para garantizar que respondan a necesidades pedagógicas reales". Esta brecha entre el desarrollo tecnológico y la participación educativa representa un desafío significativo que nuestra arquitectura propuesta busca abordar mediante un enfoque colaborativo.

Los avances recientes en IA aplicada a la educación muestran un potencial transformador para estudiantes con discapacidades. Kulik y Fletcher (Kulik & Fletcher, 2016) realizaron una revisión

meta-analítica sobre la efectividad de los sistemas de tutoría inteligente, encontrando tamaños de efecto significativamente positivos en el rendimiento estudiantil. Complementariamente, Mousavinasab et al. (Mousavinasab et al., 2021) presentan una revisión sistemática de las características, aplicaciones y métodos de evaluación de los sistemas de tutoría inteligente, proporcionando un marco comprensivo para entender su evolución y aplicaciones actuales.

Nuestra propuesta busca extender estos avances mediante una arquitectura modular específicamente diseñada para adaptar contenidos de comprensión lectora, abordando las limitaciones identificadas en términos de escalabilidad, personalización avanzada y mecanismos de retroalimentación continua. Este enfoque reconoce que el desarrollo de arquitecturas de IA especializadas y modulares puede ser necesario para superar las limitaciones inherentes a los modelos de IA de propósito general en el abordaje efectivo de las necesidades complejas y variadas de los estudiantes con discapacidades.

2.7.1 *Análisis Comparativo de Sistemas Existentes*

Para identificar con precisión las áreas de oportunidad que aborda la arquitectura propuesta, se presenta el siguiente análisis comparativo de los principales sistemas y enfoques revisados:

**Tabla 2.1. Análisis comparativo de sistemas de adaptación educativa para estudiantes con discapacidades**

<i>Autor</i>	<i>Enfoque Principal</i>	<i>Tecnología IA</i>	<i>Adaptación E2R</i>	<i>Personalización</i>	<i>Validación Empírica</i>
<b>(Holmes et al., 2019)</b>	Retroalimentación personalizada para dificultades de aprendizaje	Algoritmos adaptativos básicos	No implementada	Media - basada en rendimiento	Significativa en comprensión lectora
<b>(Nye et al., 2018)</b>	Arquitectura modular separando generación, adaptación y evaluación	Componentes independientes	No específica	Alta - componentes modulares	Implementación práctica limitada
<b>(Kasneci et al., 2023)</b>	Explicaciones adaptadas a estilos de	LLMs avanzados	No menciona	Alta - por estilos de aprendizaje	Resultados prometedores

	aprendizaje con LLMs				
<b>(Holstein et al., 2019)</b>	Co-diseño docente-IA para orquestación en tiempo real	IA colaborativa	No aborda	Media - nivel de aula	Validación en aulas
<b>(Zawacki-Richter et al., 2019)</b>	Sistemas adaptativos con evaluación en tiempo real	Algoritmos de rendimiento estudiantil	No implementa	Media - basada en datos de rendimiento	Revisión sistemática
<b>(Baker, 2016)</b>	Sistemas de tutoría inteligente complementarios	Modelos predictivos	No específica	Media - progreso académico	Meta-análisis
<b>(Burgstahler, 2011)</b>	Diseño universal en educación informática	Tecnologías facilitadoras	Marco teórico	Baja - principios generales	Marco práctico
<b>Nuestra Arquitectura Propuesta</b>	<b>Adaptación E2R automatizada con IA generativa</b>	<b>LLMs + RAG + Servicios Cognitivos</b>	<b>UNE 153101:20 18 EX</b>	<b>Muy Alta - perfiles detallados por discapacidad</b>	<b>Validación con 3.68/5 de satisfacción</b>

**Tabla 1.** Comparativa de Sistemas en Trabajos Similares.

### **Capítulo 3. MODELO ARQUITECTURAL PROPUESTO**

La educación inclusiva representa un derecho fundamental que busca garantizar el acceso equitativo al aprendizaje para todos los estudiantes, independientemente de sus capacidades o necesidades. Sin embargo, la implementación efectiva de este enfoque enfrenta desafíos significativos, particularmente en la adaptación de materiales educativos.

Los docentes dedican una cantidad considerable de tiempo y esfuerzo a realizar adecuaciones razonables de los contenidos para atender las necesidades específicas de estudiantes con discapacidad, lo que incrementa significativamente su carga laboral. Esta situación afecta tanto la calidad de las adaptaciones como la sostenibilidad del proceso educativo inclusivo.

La arquitectura propuesta responde directamente a esta problemática, ofreciendo un sistema tecnológico que automatiza parcialmente el proceso de adaptación de contenidos, basándose en los principios de Lectura Fácil establecidos por la norma UNE. Esta solución no solo alivia la carga docente, sino que garantiza adaptaciones de mayor calidad y consistencia, mejorando significativamente la experiencia educativa para estudiantes con distintas necesidades de aprendizaje.

Como se explicó en el Capítulo 1, uno de los principales problemas identificados en esta investigación es la falta de materiales de comprensión lectora que estén adaptados de forma adecuada a las distintas necesidades de los estudiantes, especialmente aquellos que enfrentan barreras cognitivas o comunicativas. Esta carencia de contenidos adaptados limita las oportunidades de aprendizaje inclusivo y equitativo, afectando directamente el desarrollo académico y la participación plena de estos estudiantes en el entorno educativo.

Uno de los aspectos más preocupantes es que los métodos tradicionales para adaptar estos materiales resultan poco eficientes. Generalmente, son los docentes quienes deben encargarse de hacer estas adaptaciones, lo cual representa una gran inversión de tiempo y esfuerzo. Esta situación les genera una carga laboral adicional, que muchas veces impide que puedan ofrecer una atención personalizada y diseñar materiales variados para diferentes tipos de estudiantes. Además, al estar

tan ocupados con tareas administrativas y académicas, muchas veces no cuentan con el tiempo suficiente para revisar, mejorar o ampliar los recursos adaptados que ya existen.

Otro problema importante que se ha detectado es que no hay una calidad similar en las adaptaciones que se hacen. Esto ocurre porque muchas veces el resultado final depende del criterio personal de quien realiza la adaptación, lo que puede generar diferencias en la efectividad pedagógica y en el cumplimiento de los lineamientos necesarios para que un material sea considerado accesible. En otras palabras, un mismo texto puede adaptarse de maneras muy distintas, y no todas esas versiones serán igualmente útiles o apropiadas para los estudiantes que más las necesitan.

También es importante señalar que existe una dificultad estructural que limita la posibilidad de escalar este tipo de adaptaciones. Como todo el proceso es manual, se vuelve complicado producir grandes volúmenes de contenidos adaptados. Esto significa que hay una gran diferencia entre la cantidad de materiales que deberían estar disponibles y la cantidad real que se puede generar y distribuir en las escuelas. Esta situación crea un desequilibrio que impacta negativamente en la educación inclusiva, ya que muchos estudiantes simplemente no tienen acceso a los recursos que necesitan.

Además, las adaptaciones actuales suelen enfocarse principalmente en el texto o en lo visual, sin aprovechar otros tipos de recursos que podrían ser muy útiles. Por ejemplo, se dejan de lado elementos como el audio, los videos interactivos o los recursos táctiles, que podrían mejorar mucho la experiencia de aprendizaje de los estudiantes con discapacidad y hacer los contenidos más accesibles, atractivos y efectivos.

Frente a este panorama, la solución propuesta en esta investigación consiste en una arquitectura tecnológica organizada en tres capas o niveles, que trabajan de forma conjunta y utilizan inteligencia artificial generativa para transformar y adaptar los contenidos educativos. Este sistema está diseñado para resolver los problemas anteriormente descritos de manera integral.

Para hacer frente a la ineficiencia de los métodos manuales, esta arquitectura incluye un sistema que automatiza muchas de las tareas de adaptación. Se apoya en modelos de lenguaje avanzados que son capaces de analizar y modificar los contenidos de forma inteligente. Gracias a esta

automatización, los docentes pueden ahorrar tiempo y esfuerzo, lo que les permite enfocarse en otros aspectos importantes del proceso educativo, como la planificación didáctica, el acompañamiento emocional o la evaluación formativa.

En cuanto al problema de la falta de consistencia en la calidad de los materiales adaptados, el sistema propuesto aplica de forma rigurosa los criterios definidos por la norma UNE, que establece principios y requisitos para garantizar que los materiales educativos sean accesibles. Esta implementación basada en estándares asegura que las adaptaciones sigan un método común, reduciendo la variabilidad y mejorando la calidad de los recursos generados.

Para abordar la dificultad de escalar el proceso de adaptación, la solución se ha diseñado con una estructura modular que permite trabajar con grandes volúmenes de contenido de manera eficiente. La arquitectura distribuida por capas facilita el uso óptimo de los recursos tecnológicos, lo que hace posible adaptar muchos materiales en menos tiempo y con menor esfuerzo humano. Esto permite responder mejor a la demanda creciente de recursos accesibles en contextos de educación inclusiva.

Respecto a la limitación de enfoques en las adaptaciones tradicionales, el sistema incorpora capacidades avanzadas. No solo se encarga de simplificar textos, sino que también integra imágenes, audios, videos, narraciones y elementos interactivos. De esta manera, se ofrecen múltiples formas de presentar la información, lo cual mejora significativamente la experiencia educativa de los estudiantes, especialmente de aquellos que aprenden mejor a través de canales distintos al textual.

Por último, para asegurar que cada estudiante reciba una adaptación que realmente le sirva, el sistema incluye un componente que permite crear perfiles personalizados. Estos perfiles recopilan información sobre las características y necesidades de cada alumno, y a partir de ello, el sistema adapta los contenidos de forma específica para cada uno. Esta función responde directamente al objetivo de atender de manera precisa y efectiva la diversidad cognitiva presente en las aulas, especialmente en el caso de estudiantes con alguna discapacidad.

### 3.1 LA COMPRENSIÓN LECTORA COMO BASE DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

La comprensión lectora constituye un pilar fundamental en el proceso educativo, ya que permite a los estudiantes no solo decodificar textos, sino realmente construir conocimiento significativo a partir de ellos. Como señala Johnston (Johnston, 1983) en el artículo citado, la comprensión puede entenderse desde dos perspectivas complementarias: como un proceso de transformación del conocimiento y como el producto resultante de la interacción con el texto.

Esta visión coincide perfectamente con (Mermelstein, 2023) que señala "Sin comprensión, la lectura es un ejercicio frustrante y sin sentido de identificar palabras". Efectivamente, cuando un estudiante lee sin comprender, se limita a una actividad mecánica de repetición de palabras que no genera aprendizaje real.

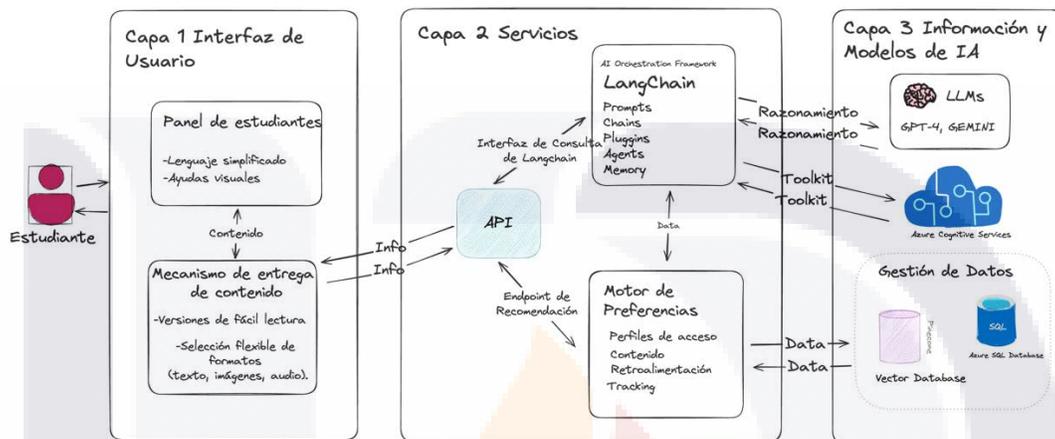
La relevancia de la comprensión lectora queda aún más clara cuando consideramos, como menciona el artículo (Collins & Lindström, 2021), que "la comprensión es el objetivo fundamental de la lectura". Las investigaciones modernas confirman que la comprensión surge precisamente de la interrelación activa entre el lector y el texto (Meyers, 1991; Perkins & Perish, 1988; Seda, 1989; Sternberg, 1991), colocando al estudiante en el centro del proceso lector.

La **arquitectura** responde directamente a esta necesidad, transformando la lectura pasiva en una experiencia interactiva que facilita la construcción de significado en tiempo real con apoyo de inteligencia artificial. Al fortalecer esta habilidad fundamental, la aplicación contribuye no solo a mejorar el desempeño en el área de lenguaje, sino también el rendimiento académico global, pues como bien se establece en (Mermelstein, 2023), "Los estudiantes que tienen dificultades con la comprensión tienen dificultades en todas las áreas de contenido".

### 3.2 TECNOLOGÍA COMO MEDIO PARA LA INCLUSIÓN EDUCATIVA

La inclusión educativa representa uno de los mayores desafíos en los sistemas educativos contemporáneos, especialmente para estudiantes en contextos como los CAED, que enfrentan condiciones particulares de aprendizaje.

En el corazón de esta arquitectura (Figura 1) yacen cuatro componentes principales: el Gran Modelo de Lenguaje, el Agente LangChain, el Kit de Servicios Cognitivos y la Base de Datos Vectorial. Estos componentes trabajan sinérgicamente para permitir que el sistema comprenda las consultas de los usuarios, planifique acciones, aproveche recursos externos y procese eficientemente datos lingüísticos.



**Figura 1.** Modelo arquitectónico con IA Generativo para Adaptación de Contenidos para Lectura Fácil.

La Arquitectura atiende esta necesidad al proporcionar un acompañamiento personalizado mediante tecnologías avanzadas como LangChain y Azure OpenAI. Este enfoque tecnológico permite adaptar el proceso de aprendizaje al ritmo y estilo individual de cada estudiante, lo que resulta especialmente valioso cuando consideramos que "la comprensión es el objetivo final de la lectura. Los estudiantes que no pueden entender lo que leen se retrasarán en todas las materias".

Al alinearse con los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), la aplicación se convierte en una herramienta de apoyo diferencial que democratiza el acceso al conocimiento. Esto responde directamente a la necesidad de desarrollar "un mecanismo de evaluación exitoso debe ser integrador por naturaleza" (Bernhardt, 1991), permitiendo que todos los estudiantes puedan acceder al conocimiento independientemente de sus condiciones particulares.

La aplicación aprovecha la visión moderna de la comprensión lectora descrita en el artículo, donde "la mayoría de las evaluaciones modernas de comprensión lectora asumen que la comprensión

proviene del resultado de la interrelación del lector con un texto" (Meyers, 1991; Perkins & Perish, 1988; Seda, 1989; Sternberg, 1991), para crear una herramienta que facilita y potencia precisamente esta interrelación.

### 3.3 FOMENTO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO Y LA AUTONOMÍA

La comprensión lectora en su dimensión más profunda trasciende la simple decodificación de palabras, involucrando procesos cognitivos superiores como la interpretación, la inferencia y la conexión de ideas. Esta visión se alinea perfectamente con lo que señala el artículo (Mermelstein, 2023): "Los buenos lectores piensan activamente mientras leen. Utilizan sus experiencias y conocimientos previos para comprender el texto.". En efecto, la investigación moderna sobre comprensión lectora confirma que los buenos lectores mantienen una interacción dinámica con el texto, donde sus conocimientos previos y experiencias juegan un papel fundamental en la construcción de significado.

La E2R App, que hace uso de esta arquitectura ha sido diseñada precisamente bajo este enfoque, funcionando no como un simple dispositivo de lectura digital, sino como un verdadero **asistente de lectura inteligente**. A través de preguntas dirigidas, explicaciones contextualizadas, definiciones de términos complejos y esquemas visuales, la aplicación promueve una interacción constante que estimula el pensamiento crítico del estudiante. Esta metodología interactiva coincide con las teorías modernas de lectura que, como menciona el artículo, colocan "al lector, en lugar del texto, en el centro de la actividad lectora" (Nunan, 1991).

Al fomentar que los estudiantes establezcan conexiones entre lo que leen y su propio contexto, la aplicación facilita el desarrollo de **procesos cognitivos** esenciales. Estos procesos, que implican la conciencia y regulación del propio aprendizaje, constituyen la base del aprendizaje autónomo, permitiendo que los estudiantes gradualmente desarrollen estrategias propias para abordar textos de creciente complejidad.

### 3.4 APOYO DOCENTE Y EVALUACIÓN FORMATIVA BASADA EN EVIDENCIA

Un reto persistente en el ámbito educativo es la dificultad que enfrentan los docentes para identificar con precisión los puntos específicos donde sus estudiantes experimentan problemas de

comprensión. Como señala el documento base: "Students may read fluently but still have difficulty with comprehension. Teachers must recognize this and address it directly"(Mermelstein, 2023). Esta observación coincide con lo que el artículo menciona sobre la evaluación de la comprensión lectora, donde "un producto de la comprensión lectora puede medirse haciendo que los lectores respondan preguntas sobre el texto"(Johnston, 1983).

La E2R App aborda directamente este desafío al proporcionar **métricas e indicadores de comprensión** que se generan automáticamente a partir de la interacción del estudiante con la aplicación. Este enfoque se alinea con lo que el artículo describe como los "métodos más comunes de evaluación en comprensión lectora", pero aprovechando las ventajas que ofrece la tecnología para hacer este proceso más eficiente y preciso.

La aplicación integra varios servicios centrados en el estudiante que potencian su experiencia de aprendizaje:

- **Servicio de Adaptación Personalizada:** Ajusta automáticamente los textos al nivel cognitivo y necesidades específicas de cada estudiante, facilitando una experiencia de lectura más accesible.
- **Servicio de Lectura Guiada:** Ofrece ayudas contextuales y explicaciones de términos complejos cuando el estudiante lo necesita, fomentando la autonomía.
- **Servicio de Retroalimentación Inmediata:** Proporciona respuestas instantáneas a las interacciones del estudiante, reforzando conceptos correctos y clarificando malentendidos.
- **Servicio de Gamificación del Aprendizaje:** Transforma las actividades de comprensión en retos motivadores que mantienen el interés y compromiso del estudiante.
- **Servicio de Aprendizaje Multimodal:** Complementa los textos con recursos auditivos y visuales que facilitan la comprensión para diferentes estilos de aprendizaje.

Los datos recopilados por la aplicación permiten a los docentes realizar una **evaluación formativa más informada**, basada en evidencia concreta sobre el proceso lector de cada estudiante. Esto resulta especialmente valioso considerando que, como señala (Bernhardt, 1991) en el artículo, "un mecanismo de evaluación exitoso debe ser integrador por naturaleza". La aplicación facilita precisamente esta evaluación integradora, permitiendo a los docentes personalizar las

intervenciones pedagógicas según las necesidades específicas de cada estudiante y dar seguimiento sistemático a sus avances en el desarrollo de la comprensión lectora.

Esta capacidad de monitoreo continuo responde además a la complejidad inherente a la evaluación de la comprensión lectora que menciona el artículo, especialmente cuando se trata de "examinar procedimientos complicados y rigurosos que involucran la comprensión lectora" (Bernhardt, 1991), proporcionando herramientas que facilitan este proceso tanto para docentes como para estudiantes.

### 3.5 COMPONENTES CLAVE DE LA ARQUITECTURA

**Gran Modelo de Lenguaje:** Sirviendo como el motor central de razonamiento del sistema, el Gran Modelo de Lenguaje tiene la tarea de comprender las indicaciones de los usuarios, establecer objetivos y recopilar los requisitos necesarios para la tarea en cuestión.

**Agente LangChain:** Funcionando tanto como planificador como ejecutor, el Agente LangChain opera dentro del sistema, utilizando las capacidades del Gran Modelo de Lenguaje. Se comunica con herramientas y recursos externos para ejecutar planes y lograr objetivos especificados.

**Kit de Servicios Cognitivos:** Compuesto por fuentes externas y APIs, el Kit de Servicios Cognitivos dota al Agente LangChain con funcionalidades adicionales y recursos de datos para ayudar en la toma de decisiones y los procesos de ejecución, mejorando su efectividad general.

**Base de Datos Vectorial:** La Base de Datos Vectorial actúa como un repositorio para representaciones vectoriales de conceptos, entidades y contextos utilizados por el Gran Modelo de Lenguaje. Estos vectores facilitan la recuperación y el procesamiento eficientes de la información, permitiendo que el modelo comprenda relaciones y conceptos lingüísticos de manera efectiva.

### 3.6 CAPAS DE LA ARQUITECTURA

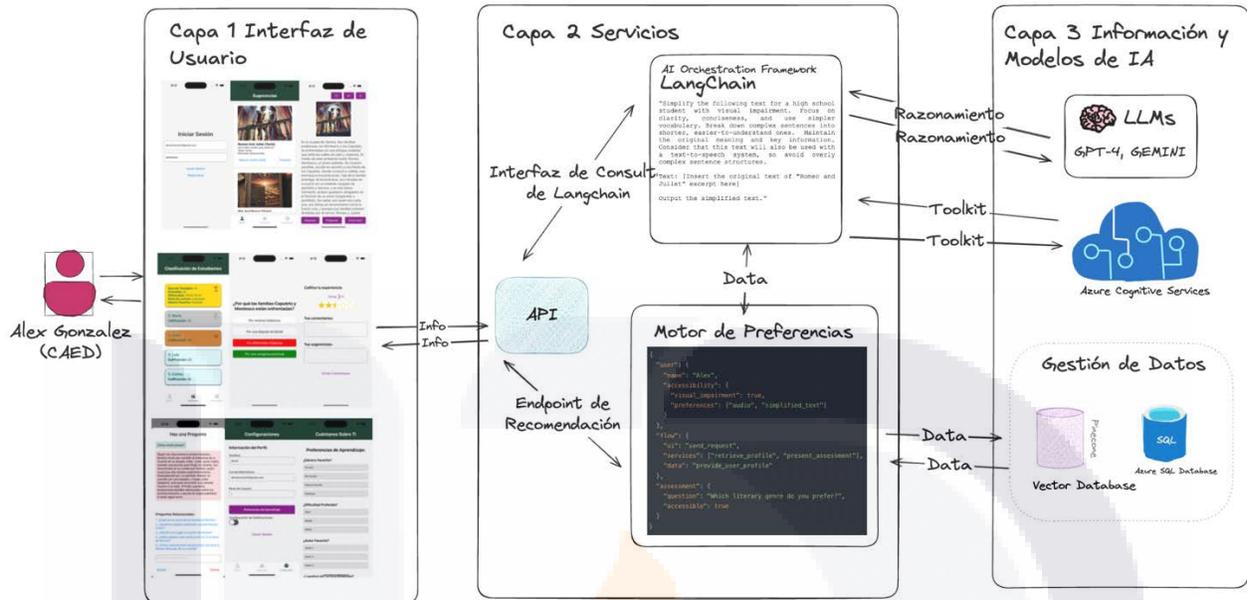


Figura 2. Arquitectura para el acceso a contenidos adaptados.

#### 3.6.1 Capa de Interfaz de Usuario

**Descripción:** Esta capa superior (ver Figura 2 para más detalles) de la arquitectura abarca la interfaz basada en móvil, facilitando las interacciones de los estudiantes con el sistema de aprendizaje adaptativo.

**Componentes:**

- Panel del Estudiante: Asegurar la inclusión de una opción de "modo de lectura fácil" dentro del Panel del Estudiante. Este modo simplifica el lenguaje e incorpora ayudas visuales para una mejor comprensión.
- Mecanismo de Entrega de Contenidos: Proporcionar versiones de fácil lectura de materiales educativos junto con la entrega estándar de contenido. Los usuarios deben tener la flexibilidad para seleccionar su formato preferido, incluyendo lectura fácil, texto estándar, imágenes o audio.

**Propósito:** La capa de IU permite una interacción fluida entre los aprendices, las indicaciones y los modelos de IA, fomentando una plataforma intuitiva para experiencias de aprendizaje personalizadas.

3.6.2

### *Capa de Servicios*

**Descripción:** La Capa 2 (ver Figura 2, para más detalles) comprende servicios que interactúan con los modelos de inteligencia artificial de la Capa 3 (Información) y acceden a bases de datos para generar contenido y respuestas personalizadas para los usuarios.

#### **Componentes:**

- Motor de Preferencias de Usuarios: Estos servicios acceden a perfiles de estudiantes, repositorios de contenido educativo y datos de retroalimentación almacenados en la Capa 3 (Información). Procesan y responden a consultas amigables para el usuario, generando respuestas fáciles de leer basadas en interacciones de usuario.
- Orquestador de IA (LangChain): Este componente optimiza la integración de modelos de lenguaje grandes dentro de aplicaciones, actuando como intermediario eficiente entre servicios de consulta y modelos generativos para facilitar la generación fluida de respuestas.
- Marco RAG: Esta capa utiliza el marco RAG, combinando técnicas de recuperación y generación de lenguaje natural para acceder a documentos indexados y generar respuestas contextuales y adaptativas.
- Técnicas de Ingeniería de Indicaciones: Se emplean técnicas como Zero-Shot, Chain-of-Thought y ReAct Prompting para crear indicaciones efectivas, guiando a los modelos de lenguaje hacia respuestas coherentes y relevantes.

**Propósito:** La Capa 2 sirve como puente entre los modelos generativos de la Capa 3 (Información) y los datos almacenados, con el objetivo de generar contenido educativo personalizado alineado con las interacciones de los estudiantes y los objetivos de aprendizaje.

**Descripción:** Sirviendo como base, esta capa (ver Figura 2, para más detalles) alberga todos los datos, documentos y contenido educativo esencial para el sistema de aprendizaje adaptativo, junto con modelos de IA.

**Componentes:**

- Perfiles de Estudiantes: Datos almacenados que representan a estudiantes individuales, incluyendo dificultades cognitivas, preferencias de aprendizaje y progreso.
- Repositorio de Contenido Educativo: Una base de datos que contiene diversos materiales educativos, incluyendo texto, imágenes, diagramas, archivos de audio y ejemplos del mundo real.
- Datos de Retroalimentación: Recopilados de interacciones de estudiantes, estos datos incluyen respuestas a indicaciones, métricas de rendimiento y comentarios sobre el contenido.
- LLM: Los LLM como OpenAI GPT-4, Gemini, LLaMa son centrales para la Capa 2, responsables de generar contenido educativo personalizado. Entienden el contexto del usuario y producen contenido y respuestas fáciles de leer adaptadas a las necesidades individuales.
- Modelos de IA: Modelos de lenguaje, imágenes generativas y modelos de texto a audio crean texto, representaciones visuales y respuestas auditivas, respectivamente.

Propósito: Esta capa proporciona los datos y recursos necesarios para respaldar experiencias de aprendizaje personalizadas adaptadas a las necesidades y preferencias de cada estudiante.

### 3.7 PROCESO METODOLÓGICO DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación de la arquitectura propuesta requirió el desarrollo de una metodología específica que combinara principios de ingeniería de software con enfoques de diseño centrado en el usuario. Esta sección describe el proceso metodológico desarrollado para el contexto del CAED.

3.7.1

Marco Metodológico

La metodología desarrollada se fundamenta en un enfoque iterativo de cinco fases que permite la evolución progresiva del sistema mediante retroalimentación continua. Este enfoque reconoce las particularidades del desarrollo de tecnologías educativas para poblaciones con discapacidades, donde la participación activa de los usuarios finales resulta fundamental para el éxito de la implementación.

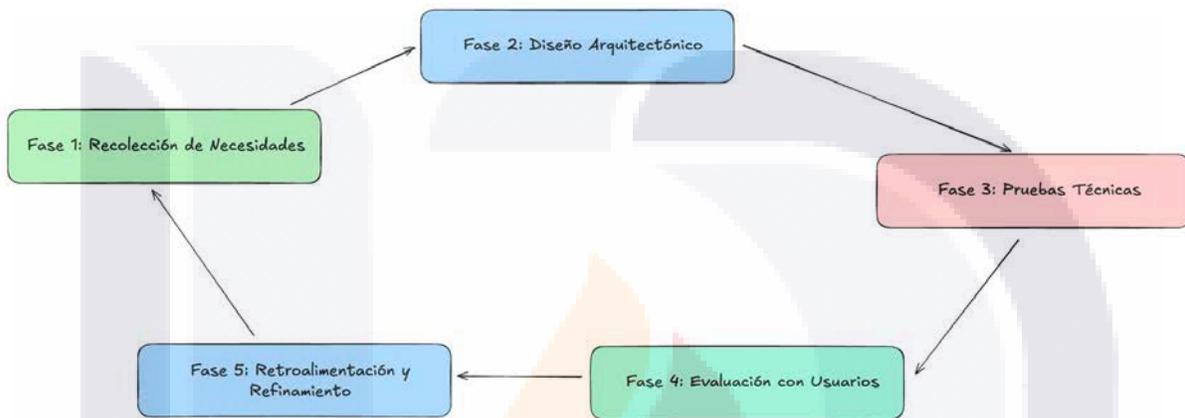


Figura 3. Proceso Metodológico de Implementación.

**Principios Metodológicos Fundamentales**

**Diseño Participativo:** Los estudiantes con discapacidades y los docentes especialistas del CAED participan como informantes clave en todas las fases del proceso, asegurando que las decisiones de diseño respondan a necesidades reales del contexto educativo.

**Iteración Controlada:** Cada fase incluye criterios específicos de validación que deben cumplirse antes de proceder a la siguiente etapa, minimizando riesgos de desarrollo y optimizando el uso de recursos.

**Validación Multinivel:** La validación combina aspectos técnicos, pedagógicos y de experiencia de usuario, garantizando que el sistema sea funcionalmente robusto y educativamente apropiado.

**Escalabilidad Progresiva:** La metodología está diseñada para iniciar con implementaciones controladas que puedan expandirse gradualmente según se valide la efectividad en el contexto específico.

3.7.2

Descripción de Fases Metodológicas

**Fase 1: Recolección de Necesidades**

**Objetivo:** Identificar y documentar las necesidades específicas de los estudiantes del CAED y establecer los requisitos funcionales del sistema.

**Actividades desarrolladas:**

- Observación del contexto educativo del CBTis 168 y específicamente del CAED para comprender la población estudiantil, recursos disponibles y metodologías pedagógicas empleadas
- Identificación de usuarios representativos mediante interacción con docentes especialistas, resultando en la caracterización del perfil de Alex González como caso de estudio principal
- Análisis de materiales educativos actualmente utilizados para identificar patrones de complejidad textual y barreras de accesibilidad
- Revisión bibliográfica de la norma UNE 153101:2018 EX y marcos de educación inclusiva para establecer parámetros técnicos

**Criterios de validación:** Consenso con al menos tres docentes especialistas del CAED sobre la apropiación de los requisitos identificados y confirmación de viabilidad técnica de la propuesta.

**Fase 2: Diseño Arquitectónico**

**Objetivo:** Desarrollar la arquitectura conceptual de tres capas que integre LLMs y servicios cognitivos según las necesidades identificadas.

**Actividades desarrolladas:**

- Diseño de la estructura arquitectónica conceptual de tres capas (Interfaz de Usuario, Servicios, Información y IA) basándose en principios de arquitectura de software y necesidades del CAED
- Definición de la integración entre Large Language Models, servicios cognitivos y mecanismos de personalización
- Conceptualización del sistema de perfilado basado en variables simples capturadas durante la interacción natural del usuario
- Especificación de interfaces de usuario adaptadas para diferentes tipos de discapacidades según principios de diseño universal

**Criterios de validación:** Validación conceptual de la arquitectura mediante revisión con especialistas en ingeniería de software y confirmación de apropiación pedagógica por parte de docentes del CAED.

### **Fase 3: Pruebas Técnicas**

**Objetivo:** Validar la funcionalidad técnica y rendimiento de los componentes del sistema antes de la evaluación con usuarios.

#### **Actividades desarrolladas:**

- Implementación conceptual de los componentes principales: motor de IA, sistema de perfilado e interfaces de usuario
- Verificación de la comunicación efectiva entre las tres capas arquitectónicas mediante pruebas de integración básicas
- Evaluación de la calidad de adaptaciones E2R generadas en comparación con principios establecidos en la literatura
- Validación del rendimiento del sistema bajo condiciones simuladas de uso educativo

**Criterios de validación:** Demostración de capacidad para manejar múltiples usuarios simultáneos con tiempos de respuesta apropiados para uso educativo (objetivo establecido: <5 segundos) y disponibilidad adecuada durante períodos prolongados.

### **Fase 4: Evaluación con Usuarios**

**Objetivo:** Validar la efectividad del sistema propuesto con usuarios reales del CAED mediante evaluación empírica.

#### **Actividades desarrolladas:**

- Selección de nueve participantes del CAED siguiendo criterios específicos de inclusión y obtención de consentimientos apropiados
- Implementación de sesiones estructuradas de evaluación donde los participantes interactuaron con el sistema utilizando contenidos educativos reales
- Aplicación del cuestionario de evaluación basado en criterios de la norma UNE 153101:2018 EX para recolectar datos cuantitativos
- Realización de entrevistas complementarias para obtener perspectivas cualitativas sobre la experiencia de uso

**Criterios de validación:** Obtención del tamaño de muestra planificado (nueve participantes) y logro de un coeficiente de confiabilidad mínimo aceptable ( $\geq 0.7$ ) en el instrumento de evaluación aplicado.

**Fase 5: Retroalimentación y Refinamiento**

**Objetivo:** Analizar los resultados de la evaluación e identificar oportunidades de mejora para optimizar el sistema.

**Actividades desarrolladas:**

- Análisis estadístico descriptivo e inferencial de los datos cuantitativos recolectados, complementado con análisis cualitativo de las entrevistas realizadas
- Identificación y priorización de áreas de mejora basándose en los resultados obtenidos, particularmente enfocándose en el sistema de soporte que obtuvo la valoración más baja
- Desarrollo de recomendaciones específicas para optimizar aspectos visuales, navegabilidad y personalización según los tres perfiles de usuario identificados
- Formulación de directrices para implementaciones futuras del sistema en contextos similares

**Criterios de validación:** Completitud del análisis de resultados y generación de recomendaciones específicas y accionables para mejoras del sistema y futuras implementaciones.

## Capítulo 4. DESARROLLO TECNOLÓGICO

En esta sección, delineamos la metodología empleada para implementar el marco arquitectónico diseñado para mejorar las clases de literatura a través de la aplicación de técnicas E2R, integrando elementos de texto, imágenes y audio. El objetivo es crear una experiencia de aprendizaje personalizada que fomente el compromiso, la comprensión y la retención entre los estudiantes.

### 4.1 CONTEXTO DEL CASO DE ESTUDIO

El análisis de problemática y usuario para el Centro de Atención para Estudiantes con Discapacidad (CAED) examina detalladamente los obstáculos que enfrentan estos estudiantes y destaca las necesidades críticas que deben atenderse para mejorar su experiencia educativa y su inclusión.

El CAED del CBTis 168 en Aguascalientes, México, representa un esfuerzo institucional significativo por garantizar el acceso equitativo a la educación media superior. Este centro atiende específicamente a estudiantes del programa Prepa Abierta que presentan diferentes tipos de discapacidad y necesidades educativas especiales, constituyendo un espacio fundamental para la inclusión educativa en la región.

La población estudiantil del CAED se caracteriza por su diversidad en cuanto a tipos de discapacidad, que incluyen discapacidades visuales, auditivas, motoras, intelectuales y trastornos del espectro autista. Esta heterogeneidad presenta desafíos únicos en términos de adaptación curricular y metodológica, ya que cada tipo de discapacidad requiere estrategias diferenciadas de apoyo educativo.

**Perfil Demográfico:** La población estudiantil del CAED se caracteriza por una diversidad etaria que va desde los 15 hasta los 25 años, siendo la mayoría jóvenes que por diversas circunstancias no pudieron completar su educación media superior en la modalidad escolarizada tradicional. La distribución por género muestra una ligera mayoría masculina, reflejando las barreras diferenciadas que enfrentan las mujeres con discapacidad para acceder a la educación.

**Condiciones Socioeconómicas:** La mayoría de los estudiantes del CAED provienen de familias de nivel socioeconómico medio-bajo y bajo, lo que agrega una dimensión adicional de vulnerabilidad a su situación educativa. Muchos de estos estudiantes trabajan de medio tiempo o tiempo completo para apoyar económicamente a sus familias, lo que limita su disponibilidad para dedicar tiempo completo a sus estudios. Esta realidad socioeconómica influye directamente en su acceso a tecnologías de apoyo, materiales educativos especializados y servicios de rehabilitación complementarios.

**Diversidad en Tipos de Discapacidad:** La población estudiantil del CAED presenta una notable heterogeneidad en cuanto a tipos de discapacidad, lo que constituye tanto una riqueza como un desafío para el diseño de estrategias educativas inclusivas:

- **Discapacidades sensoriales:** Incluye estudiantes con discapacidad visual (ceguera total, baja visión, daltonismo) y discapacidad auditiva (sordera, hipoacusia). Estos estudiantes requieren adaptaciones específicas en la presentación de información y en los canales de comunicación.
- **Discapacidades intelectuales y del desarrollo:** Estudiantes con discapacidad intelectual leve a moderada, síndrome de Down, y otros trastornos del desarrollo que afectan el procesamiento cognitivo y la velocidad de aprendizaje.
- **Dificultades específicas de aprendizaje:** Principalmente dislexia, disgrafía, discalculia y trastornos del procesamiento auditivo, que afectan habilidades académicas específicas sin comprometer la capacidad intelectual general.
- **Trastornos del espectro autista:** Estudiantes con diferentes grados de TEA que presentan desafíos en la comunicación social, patrones de comportamiento repetitivos y sensibilidades sensoriales particulares.
- **Discapacidades motoras:** Estudiantes con limitaciones en la movilidad física que pueden requerir adaptaciones en el acceso físico y en las modalidades de interacción con materiales educativos.

**Limitaciones Tecnológicas:** Para los estudiantes con discapacidades, el acceso a tecnologías adaptadas es vital para su inclusión en el entorno educativo. Sin embargo, enfrentan grandes barreras tecnológicas. Muchas de las herramientas disponibles no están adecuadas a sus necesidades, lo que crea un entorno de aprendizaje desigual y poco inclusivo. Las plataformas educativas actuales, aunque diseñadas para la enseñanza a distancia, no ofrecen suficientes opciones de personalización o compatibilidad con tecnologías asistivas, como lectores de pantalla o sistemas de texto a voz. Esta falta de integración impide que los estudiantes con discapacidades accedan a los mismos contenidos y actividades que sus pares, limitando su potencial de aprendizaje y autonomía. La problemática de la compatibilidad con tecnologías asistivas agrega una capa de dificultad adicional: al no poder emplear eficazmente sus dispositivos de apoyo, los estudiantes quedan limitados a métodos de aprendizaje que no son óptimos para sus condiciones específicas.

**Barreras Relacionadas con el Personal:** Además de las barreras tecnológicas, los estudiantes con discapacidades se enfrentan a barreras de personal educativo. La escasez de docentes con formación especializada en educación inclusiva representa un obstáculo constante en su aprendizaje. A pesar de los avances en metodologías de enseñanza inclusiva, muchos docentes no están capacitados para utilizarlas, y el desconocimiento en el uso de tecnologías asistivas es común. Esta falta de preparación limita la capacidad de los docentes para adaptar el contenido y las actividades educativas de forma efectiva y sensible a las necesidades individuales de los estudiantes. La alta rotación de personal capacitado también impide la creación de un entorno de apoyo consistente, ya que los estudiantes deben adaptarse continuamente a nuevos docentes que no siempre están familiarizados con sus desafíos y preferencias, lo cual impacta negativamente en su motivación y rendimiento académico.

**Comprensión Lectora:** Uno de los desafíos más relevantes para los estudiantes con discapacidades en el proceso de aprendizaje es la comprensión lectora. Los textos complejos suelen ser difíciles de procesar para ellos, especialmente si no están adaptados a su nivel de comprensión y formato preferido. La falta de materiales en formatos accesibles –ya sea en texto

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

simplificado, audio, o visual— agrava esta problemática. Estos estudiantes requieren recursos personalizados que les permitan aprender a su propio ritmo, con contenidos que se adapten a sus capacidades. Sin un sistema de seguimiento del progreso que monitoree sus avances, los estudiantes no pueden visualizar su desarrollo, lo cual podría servir como una motivación y guía para ajustar los métodos de enseñanza.

**Motivación y Engagement:** La motivación en el entorno de aprendizaje virtual es otro gran reto. Muchos estudiantes con discapacidades tienen experiencias previas negativas en entornos educativos convencionales, lo que genera frustración y una sensación de fracaso. La desmotivación aumenta cuando se enfrentan a materiales no adaptados o a actividades en las que sienten que sus habilidades y necesidades no son comprendidas ni atendidas. La falta de retroalimentación inmediata en plataformas digitales acentúa esta desmotivación, ya que los estudiantes necesitan confirmación constante de su progreso y logros. Además, la sensación de aislamiento en entornos virtuales, donde la interacción con sus pares y docentes es limitada, impacta negativamente en su participación activa y en su sentido de pertenencia a la comunidad educativa.

#### 4.1.3

#### *Limitaciones Tecnológicas Específicas*

**Herramientas de Adaptación:** Las herramientas tecnológicas adaptativas actuales no cumplen con los estándares requeridos para una experiencia inclusiva efectiva. Por ejemplo, los sistemas de texto a voz en español no suenan naturales, lo cual afecta la experiencia del estudiante al dificultar la comprensión y concentración en el contenido. Además, la falta de opciones de personalización en las interfaces limita el acceso a los materiales educativos. Los estudiantes necesitan poder ajustar el tamaño de texto, colores, contrastes, y otros elementos visuales según sus preferencias, pero las plataformas carecen de esta flexibilidad. Asimismo, las opciones de entrada alternativa, como el uso de teclados especializados o sistemas de control por voz, son escasas, lo que dificulta la participación de estudiantes con discapacidades motoras.

**Seguimiento y Análisis del Progreso:** La falta de métricas adaptadas y de un sistema de alerta temprana para identificar problemas de aprendizaje es una limitación clave en la tecnología educativa para estudiantes con discapacidades. Estas herramientas son esenciales para monitorear el progreso individual, pero las plataformas actuales no suelen ofrecer estas capacidades. Sin datos

precisos y adaptados a diferentes tipos de discapacidades, es difícil realizar un análisis completo del avance de los estudiantes o identificar rápidamente áreas en las que necesitan apoyo adicional. Esto retrasa la intervención de los docentes y limita el desarrollo de estrategias de enseñanza personalizadas y adaptadas a cada estudiante.

## 4.2 CÓMO LAS PAUTAS E2R MEJORAN LA COMPRENSIÓN LECTORA

La norma UNE 153101:2018 EX regula las pautas de Lectura Fácil (Easy to Read, E2R) y establece criterios lingüísticos, estructurales y visuales para garantizar la accesibilidad cognitiva al contenido escrito, especialmente para personas con discapacidad intelectual, dificultades lectoras, trastornos del neurodesarrollo o en procesos de alfabetización funcional. Su aplicación transforma la experiencia de lectura en un proceso más comprensible, inclusivo y significativo.

Uno de los mecanismos clave de la E2R es la simplificación lingüística, que implica el uso de vocabulario de alta frecuencia, oraciones breves y estructuras gramaticales sencillas. Limitar las oraciones a un máximo de 15 palabras y evitar términos abstractos o técnicos reduce la carga en la memoria de trabajo y favorece la decodificación automática del texto. Según (Reguera & Prieto-Velasco, 2023), esta estrategia permite “atenuar la complejidad textual sin perder contenido informativo, facilitando la accesibilidad semántica para lectores con baja competencia lingüística”. Sarmiento Torra (Torra, 2024) sostiene que la selección léxica basada en palabras de uso común permite a los lectores “anticipar el significado con mayor facilidad”, especialmente en contextos de enseñanza de español como lengua extranjera.

La norma E2R promueve una estructura cognitiva clara como pilar fundamental del texto. Esto se concreta en la formulación de una sola idea por oración, el uso de párrafos breves (máximo cinco líneas) y la organización del contenido siguiendo una secuencia lógica o cronológica. Estas características ayudan al lector a construir modelos mentales coherentes, favoreciendo la comprensión inferencial y la retención de información. (Hurtado & Carlucci, 2023) y (Gaona, 2013) afirman que la segmentación del contenido en unidades claras y predecibles reduce la sobrecarga cognitiva y permite una mejor organización del conocimiento en la memoria.

El uso de apoyos visuales integrados es otro mecanismo esencial para la mejora de la comprensión lectora. La inclusión de imágenes descriptivas, iconografía de apoyo y un diseño visual consistente refuerzan la información verbal mediante un proceso de codificación dual. Hurtado y Reguera (Hurtado & Reguera, 2022) y Contreras & Sage (Contreras & Sage, 2022) destacan la efectividad de esta estrategia para activar conocimientos previos, guiar la atención hacia conceptos relevantes y reducir la carga perceptual. Tenorio Calderón (Calderón, 2024) enfatiza que los elementos visuales bien diseñados “funcionan como anclas cognitivas que facilitan la navegación textual y mejoran el recuerdo del contenido”.

La interacción entre simplificación lingüística, claridad estructural y apoyos visuales genera un efecto sinérgico que potencia significativamente la comprensión lectora. La evidencia empírica respalda que estas estrategias, más allá de ser técnicas editoriales, constituyen herramientas pedagógicas fundamentales para garantizar el derecho a la información y la comunicación comprensible, en línea con los principios de accesibilidad universal y educación inclusiva.

#### 4.3 TÉCNICAS EASY-TO-READ (E2R): FUNDAMENTACIÓN Y SELECCIÓN

La selección de las técnicas Easy-to-Read (E2R) como base metodológica de la arquitectura propuesta se fundamenta en su reconocimiento internacional como estándar de accesibilidad cognitiva y su validación empírica demostrada. La norma UNE 153101:2018 EX establece un marco sistemático que supera a otras alternativas de Lectura Fácil por las siguientes razones:

##### Comparación con Alternativas de Lectura Fácil:

<i><b>Enfoque</b></i>	<i><b>Ventajas</b></i>	<i><b>Limitaciones</b></i>	<i><b>Adecuación para IA</b></i>
<i><b>Plain Language</b></i>	Ampliamente utilizado en administración pública	No específico para discapacidades cognitivas, criterios generales	Media - requiere interpretación humana
<i><b>Simplified Text</b></i>	Aplicación flexible	Subjetivo, sin estándares específicos	Baja - falta de criterios objetivos

<b>E2R</b> <b>153101:2018)</b>	<b>(UNE</b>	Criterios específicos y medibles, validación multinivel	Implementación más compleja	Alta	-	<b>criterios algorítmicos claros</b>
<b>IFLA Guidelines</b>		Reconocimiento internacional	Orientación general sin métricas específicas	Media	-	necesita operacionalización

**Tabla 2. Enfoques de Lectura Fácil**

**Justificación de la Elección E2R:**

1. **Criterios Operacionalizables:** La norma UNE proporciona reglas específicas que pueden traducirse en algoritmos de IA (ej. máximo 15 palabras por oración, uso de voz activa, evitar subordinadas complejas).
2. **Validación Multinivel:** Los tres niveles de validación (automática, expertos, usuarios) se alinean perfectamente con una arquitectura de IA, supervisión docente y retroalimentación estudiantil.
3. **Especificidad para Español:** A diferencia de estándares internacionales genéricos, UNE 153101:2018 considera las particularidades lingüísticas del español.
4. **Medibilidad:** Permite establecer métricas cuantificables (índice de legibilidad, densidad léxica, complejidad sintáctica) esenciales para el entrenamiento de modelos de IA.

**4.4 GENAI Y COMPRENSIÓN LECTORA**

La Inteligencia Artificial Generativa (GenAI) ofrece un potencial único para mejorar la comprensión lectora en estudiantes de educación especial, adaptándose a sus necesidades individuales y superando barreras que tradicionalmente limitan su desarrollo. A través de tecnologías avanzadas, la GenAI está revolucionando cómo los estudiantes interactúan con los textos, proporcionando una experiencia de aprendizaje personalizada que les permite comprender y disfrutar de la lectura de una manera más profunda y accesible. Esta transformación es especialmente significativa para los estudiantes con dificultades de aprendizaje, discapacidades visuales o de procesamiento de información, ya que la IA puede adaptar el contenido a sus capacidades y estilos de aprendizaje únicos.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Uno de los aspectos más poderosos de la GenAI en el ámbito de la comprensión lectora es su capacidad para personalizar el contenido y ritmo. Por ejemplo, sistemas de lectura adaptativa impulsados por la GenAI pueden ajustar automáticamente el nivel de dificultad del texto, ofreciendo definiciones de palabras difíciles, resaltando frases clave o fragmentando la información en bloques manejables. Para un estudiante que necesita un enfoque visual para comprender mejor, la GenAI puede presentar conceptos en forma de imágenes, mientras que para otro estudiante que requiere apoyo auditivo, el sistema puede integrar audio y retroalimentación sonora. Esta personalización fomenta la autonomía y permite que cada estudiante progrese a su propio ritmo, logrando una comprensión más efectiva.

La IA también tiene un papel crucial en la superación de barreras de comunicación que afectan la comprensión lectora. Herramientas de texto a voz y reconocimiento de voz permiten que los estudiantes con dificultades de lectura puedan escuchar el contenido en vez de leerlo, facilitando el entendimiento y mejorando la retención de información. De este modo, la IA transforma el proceso de lectura en una experiencia inclusiva, eliminando limitaciones y permitiendo que más estudiantes participen plenamente en el aprendizaje.

Además, la IA ofrece un valor agregado al proporcionar a los educadores una herramienta potente de análisis y seguimiento del progreso de comprensión lectora de cada estudiante. Los sistemas de IA pueden generar datos detallados sobre patrones de lectura, áreas de dificultad, y avances en la comprensión de textos. Esto permite a los docentes ajustar sus estrategias de enseñanza, detectar posibles obstáculos de manera temprana y brindar apoyo adicional donde sea necesario. Así, la IA no solo mejora la experiencia del estudiante, sino que optimiza el rol del educador, convirtiendo la comprensión lectora en un proceso más estructurado y efectivo.

La educación inclusiva tiene como objetivo brindar a todos los estudiantes, independientemente de sus habilidades o antecedentes, acceso a una educación de calidad. Para lograr este objetivo, es importante hacer que los materiales de lectura sean más fáciles de entender. A continuación, se presentan algunas estrategias para lograrlo:

### **Ajuste del nivel de lectura**

- Use oraciones simples: divida las oraciones complejas en oraciones más cortas.

- Limite el vocabulario: use palabras comunes que sean familiares para la mayoría de los lectores.

### **Acorte o alargamiento del tamaño del texto**

- Acorte el texto: concéntrese en las ideas clave y elimine los detalles innecesarios. Esto ayuda a mantener la atención del lector.
- Alargamiento del texto: si es necesario, agregue explicaciones o ejemplos para aclarar los conceptos sin abrumar al lector.

### **Simplificación del vocabulario**

- Use lenguaje cotidiano: reemplace las palabras difíciles con alternativas más simples. Por ejemplo:
  - "Utilizar" se convierte en "usar".
  - "Comprender" se convierte en "entender".

### **Reemplazo de modismos o simbolismos**

- Use lenguaje concreto: evite modismos y metáforas que puedan confundir a los lectores. En lugar de decir "estirar la pata", diga "morir".

### **Reformateo del texto**

- Uso de encabezados: divida el texto con encabezados claros para guiar a los lectores.
- Viñetas: presente listas o puntos clave en forma de viñetas para facilitar la lectura.
- Resalte información importante: utilice negrita o cursiva para enfatizar los términos clave.

## **4.5 USER PERSONA – PERFIL DE ALEX GONZÁLEZ**

Alex González es un estudiante no escolarizado de entre 15 y 27 años que enfrenta una o varias discapacidades. Su situación familiar lo lleva a depender de sus familiares para algunas actividades diarias, incluido el transporte. A pesar de que está motivado para aprender, Alex experimenta frustración debido a los obstáculos que encuentra en su proceso educativo y en su búsqueda de

independencia. Su actitud hacia el aprendizaje es positiva, aunque frecuentemente se siente desalentado por las barreras que enfrenta en su camino.

En cuanto a su **estilo de aprendizaje**, Alex requiere materiales presentados en múltiples formatos para poder elegir la modalidad que mejor se adapte a su capacidad de comprensión. Aprende mejor cuando recibe retroalimentación inmediata, lo que le permite ajustar su enfoque y entender claramente sus errores y logros. Necesita pausas frecuentes y se beneficia de la repetición y el refuerzo para consolidar su aprendizaje.

#### 4.5.1 *Necesidades Específicas de Alex*

**Académicas:** Alex necesita materiales simplificados que mantengan la esencia del contenido pero que sean accesibles a su nivel de comprensión. Esto incluye textos adaptados y múltiples formatos como audio y visual. También requiere herramientas de apoyo para la toma de notas y un sistema de seguimiento personalizado que le permita monitorear su propio progreso, lo cual fomentaría su motivación y autoconfianza.

**Tecnológicas:** En cuanto a sus necesidades tecnológicas, Alex requiere interfaces adaptativas y personalizables, con sistemas de texto a voz que sean claros y naturales. Además, es esencial que las herramientas sean compatibles con tecnologías asistivas que él ya utiliza, como dispositivos de comunicación alternativa y métodos de entrada adaptativa. Estas herramientas también deben ofrecer retroalimentación multimodal para cubrir sus necesidades de aprendizaje y facilitar su interacción con el contenido educativo.

**Sociales:** Alex necesita una conexión significativa con docentes y compañeros. Esta interacción social le ayuda a sentirse parte de una comunidad educativa, lo que es vital para su desarrollo emocional y académico. La oportunidad de participar en actividades grupales adaptadas y de

recibir reconocimiento por sus logros contribuye a su sentido de pertenencia y motivación en el aprendizaje.

#### 4.5.2 *Objetivos y Aspiraciones*

**A corto plazo**, Alex desea mejorar su comprensión lectora y establecer una rutina de aprendizaje efectiva. Su objetivo es sentirse parte de su entorno académico y aumentar su motivación diaria. **A mediano plazo**, espera completar satisfactoriamente los módulos académicos, ganar mayor autonomía y establecer relaciones positivas con sus compañeros, mejorando su autoestima académica. **A largo plazo**, Alex aspira a graduarse del bachillerato, prepararse para estudios superiores o el trabajo, y alcanzar la independencia en su vida, logrando así sus metas personales y de desarrollo.

#### 4.5.3 *Preferencias de Interacción*

Alex prefiere materiales fáciles de entender, con palabras sencillas y con ayuda visual y de audio. Le gustan las interfaces simples donde pueda recibir respuestas rápidas cuando hace algo bien. También valora que le hablen de manera clara, que respeten su forma de aprender y que reconozcan sus logros.

El sistema de la aplicación aprende sobre las preferencias de Alex mientras él la usa normalmente, sin molestarlo con preguntas complicadas. La aplicación observa cómo Alex usa la plataforma y guarda esta información para mejorar su experiencia:

**Tabla 4.1. Información que la aplicación recolecta sobre Alex**

<i>Qué observa la aplicación</i>	<i>la</i>	<i>Tipo de información</i>	<i>Cómo la obtiene</i>	<i>Por qué es importante para Alex</i>
<i>Configuración que elige Alex</i>				
<i>Tipo de discapacidad</i>	<i>de</i>	Una opción	Al registrarse	Para saber qué ayudas necesita

<i>Tamaño de letra</i>	Pequeña/Mediana/Grande	Botones en la pantalla	Alex necesita letras grandes para ver mejor
<i>Si usa audio</i>	Sí/No	Cuando presiona "reproducir"	A Alex le gusta oír el contenido
<b><i>Cómo usa la aplicación</i></b>			
<i>Tiempo en cada sesión</i>	Minutos	Automático	Alex usa la app unos 18 minutos cada vez
<i>Actividades que termina</i>	Número	Contador automático	Muestra si Alex prefiere hacer las cosas en orden
<i>Días que usa la app</i>	Número (1-7)	Contador automático	Alex la usa 4 días por semana
<b><i>Qué tan bien le va</i></b>			
<i>Respuestas correctas</i>	Porcentaje	Tests sencillos	Para saber si el contenido es del nivel correcto
<i>Pide ayuda</i>	Sí/No	Botón "Necesito ayuda"	Alex pide ayuda unas 3 veces por sesión
<b><i>Lo que Alex opina</i></b>			
<i>Calificación con estrellas</i>	1-5 estrellas	Sistema de estrellas	Alex da 4-5 estrellas cuando le gusta
<i>Comentarios</i>	Texto libre	Campo para escribir	Si Alex quiere agregar algo

**Tabla 3.** Variables para Generación de Recomendación.

### **Funcionamiento del Motor de Preferencias de la Aplicación**

El motor de preferencias constituye el núcleo de la arquitectura propuesta, diseñado para determinar automáticamente las adaptaciones más apropiadas para cada estudiante del CAED. Este componente opera mediante una estrategia híbrida que combina la eficiencia de reglas determinísticas con los Large Language Models, proporcionando así un equilibrio óptimo entre velocidad de respuesta y calidad de adaptación.

## **Arquitectura Decisional Basada en Reglas Determinísticas**

El primer nivel del motor de preferencias opera mediante un sistema de reglas determinísticas que abordan las necesidades más comunes y claramente definidas de los estudiantes. Estas reglas han sido desarrolladas basándose en las mejores prácticas de educación inclusiva y los estándares establecidos por la norma UNE 153101:2018 EX, constituyendo el fundamento operativo que garantiza respuestas inmediatas y consistentes.

El sistema categoriza las adaptaciones según dos criterios principales: el tipo de discapacidad declarada y el rendimiento académico observado. Para estudiantes con discapacidad visual, como Alex, el motor activa automáticamente un conjunto específico de configuraciones que incluyen la reproducción de audio, el aumento del tamaño de texto y la activación de contrastes altos. Esta respuesta inmediata elimina la necesidad de configuración manual y asegura que el estudiante tenga acceso a herramientas apropiadas desde su primera interacción con el sistema.

En el caso de estudiantes con discapacidad auditiva, el motor prioriza elementos visuales, desactiva automáticamente los componentes de audio y aumenta la presencia de imágenes y elementos gráficos de apoyo. Para aquellos con discapacidad cognitiva, el sistema implementa simplificaciones automáticas del contenido, incrementa la disponibilidad de ayuda contextual y establece pausas más prolongadas entre actividades.

Las reglas de rendimiento académico complementan estas adaptaciones básicas mediante la evaluación continua del desempeño del estudiante. Cuando el sistema detecta que un estudiante responde correctamente menos del sesenta por ciento de las preguntas, activa automáticamente mecanismos de reducción de dificultad y aumenta los niveles de soporte disponibles. De manera similar, si un estudiante solicita ayuda más de cuatro veces durante una sesión, el motor interpreta esto como un indicador de que el contenido presenta un nivel de complejidad inadecuado y ajusta consecuentemente las futuras presentaciones.

## **Integración de Large Language Models para Adaptaciones Complejas**

El segundo nivel del motor de preferencias incorpora la capacidad de procesamiento avanzado de los Large Language Models para abordar situaciones que requieren adaptación semántica

compleja. Esta funcionalidad se activa específicamente cuando el sistema determina que las reglas determinísticas son insuficientes para proporcionar una adaptación adecuada del contenido educativo.

El LLM interviene principalmente en tres escenarios: cuando el contenido presenta una complejidad semántica que requiere reescritura completa, cuando un estudiante presenta múltiples discapacidades que necesitan adaptaciones coordinadas, y cuando el material educativo contiene referencias culturales o conceptos abstractos que requieren contextualización específica para el entorno mexicano del CAED.

El proceso de activación del LLM está cuidadosamente estructurado para maximizar la efectividad de la adaptación. Inicialmente, el sistema genera instrucciones específicas basadas en el perfil completo del estudiante, incluyendo no solo el tipo de discapacidad sino también su historial de rendimiento, preferencias declaradas y patrones de interacción observados. Estas instrucciones siguen las técnicas de ingeniería de prompts desarrolladas específicamente para garantizar que las adaptaciones cumplan con los estándares E2R mientras mantienen la integridad pedagógica del contenido original.

### **Ejemplo Ilustrativo: El Caso de Alex González**

Para ilustrar el funcionamiento integrado del motor de preferencias, consideremos el proceso que experimenta Alex durante una sesión típica de uso. Al iniciar sesión, el sistema identifica inmediatamente su perfil como estudiante con discapacidad visual y activa automáticamente las configuraciones apropiadas: audio habilitado, texto en tamaño grande y contraste alto. Este proceso ocurre en décimas de segundo y no requiere intervención manual.

Cuando Alex selecciona una actividad de literatura, el motor evalúa tanto el contenido como su historial de rendimiento. Dado que Alex mantiene un nivel de accuracy del setenta y cinco por ciento y solicita ayuda aproximadamente tres veces por sesión, el sistema calcula que requiere un nivel de soporte bajo, permitiéndole mantener su autonomía mientras proporciona asistencia cuando es necesaria.

Si el texto literario seleccionado presenta complejidad semántica estándar, las reglas determinísticas son suficientes para proporcionar la adaptación apropiada. Sin embargo, si el contenido incluye conceptos abstractos, metáforas complejas o referencias culturales específicas, el motor activa el componente LLM para realizar una adaptación semántica profunda que mantenga el valor educativo mientras simplifica la comprensión.

### **Ventajas Operativas del Enfoque Híbrido**

Este diseño híbrido presenta múltiples ventajas operativas que lo hacen particularmente apropiado para el contexto del CAED. La velocidad de respuesta del sistema de reglas determinísticas garantiza que los estudiantes no experimenten demoras frustrantes al acceder al contenido, mientras que la disponibilidad del LLM asegura que incluso los casos más complejos reciban adaptaciones apropiadas.

La escalabilidad del sistema permite su funcionamiento efectivo independientemente del número de usuarios simultáneos. Las reglas determinísticas manejan la mayoría de las decisiones sin requerir recursos computacionales intensivos, mientras que el LLM se utiliza estratégicamente solo cuando su sofisticación es verdaderamente necesaria.

### **Evolución y Adaptabilidad del Sistema**

El motor de preferencias está diseñado para evolucionar gradualmente conforme se expande la base de usuarios del CAED. En la fase inicial, con un número limitado de estudiantes, las reglas determinísticas proporcionan la estabilidad y consistencia necesarias, mientras que el LLM maneja los casos excepcionales que requieren adaptación semántica avanzada.

A medida que se acumula experiencia operativa, las reglas pueden refinarse basándose en patrones observados y retroalimentación de los docentes especialistas. Esta capacidad de ajuste continuo asegura que el sistema mantenga su efectividad y relevancia pedagógica a lo largo del tiempo.

El enfoque adoptado reconoce que la educación inclusiva requiere herramientas que sean tanto técnicamente sofisticadas como pedagógicamente transparentes. El motor de preferencias híbrido satisface estos requisitos aparentemente contradictorios mediante la implementación estratégica

de diferentes niveles de automatización según la complejidad específica de cada situación educativa, creando así una solución verdaderamente apropiada para las necesidades del Centro de Atención para Estudiantes con Discapacidad.

## 4.6 IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA

### 4.6.1 Canal de Entrada

**Acceso a la Plataforma:** Al iniciar sesión a través del Módulo del Panel del Estudiante, los estudiantes obtienen acceso a una plataforma integral que ofrece una variedad diversa de recursos literarios adaptados para una fácil comprensión. Estos recursos comprenden cuentos cortos, poemas y ensayos breves, todos presentados de manera fácilmente comprensible.

**Evaluación Inicial:** Al ingresar, los estudiantes participan en una evaluación concisa diseñada para medir sus intereses literarios, niveles de competencia y métodos de aprendizaje preferidos. Esta evaluación emplea un formato amigable para asegurar claridad y comprensión.

**Curación de Contenido Personalizada:** Aprovechando los resultados de la evaluación procesados por los Módulos de Servicios de Consulta y los Módulos del Orquestador de IA (LangChain), la plataforma ajusta dinámicamente el contenido y las actividades para satisfacer las necesidades únicas de cada estudiante. Esto implica seleccionar textos adecuados, personalizar actividades e incorporar descansos según sea necesario.

**Repositorio Literario Accesible:** Los estudiantes disfrutan de acceso a una selección diversa de materiales literarios adaptados para una lectura fácil, que incluyen textos adaptados, audiolibros y ejercicios interactivos almacenados en el Repositorio de Contenido Educativo. El contenido está categorizado intuitivamente por tema para facilitar la exploración sin problemas.

### 4.6.2 Canal de Salida

**Recomendaciones Personalizadas:** Basándose en los datos recopilados en los Perfiles de Estudiantes y procesados por los LLM y el Marco RAG, la plataforma genera sugerencias de lectura y actividades personalizadas alineadas con los intereses y preferencias de cada estudiante. Estas recomendaciones se presentan de manera clara y accesible a través del Panel del Estudiante.

**Adaptación Continua:** A medida que los estudiantes interactúan con el contenido, la plataforma se adapta continuamente en función de su progreso y retroalimentación almacenada en los Datos de Retroalimentación. Esto puede implicar ajustar los niveles de dificultad de las actividades y proporcionar apoyo adicional según sea necesario, facilitado por el Orquestador de IA (LangChain) y las Técnicas de Ingeniería de Indicaciones.

**Mecanismo de Retroalimentación Transparente:** Al completar las actividades, se invita a los estudiantes a proporcionar retroalimentación sobre su experiencia y el contenido proporcionado. Este mecanismo de retroalimentación emplea un formato sencillo, invitando comentarios sobre la claridad del material y sugerencias para mejorar el viaje de aprendizaje, y es procesado por los Servicios de Consulta para mejorar continuamente la experiencia de aprendizaje.

**Interfaz Amigable para el Usuario:** Los resultados de las actividades y adaptaciones se comunican a los estudiantes a través de un Panel del Estudiante intuitivo y fácil de navegar. Aquí, pueden revisar tareas completadas y explorar nuevas recomendaciones de lectura de manera interactiva y atractiva, con el soporte del Mecanismo de Entrega de Contenidos que asegura accesibilidad y capacidad de respuesta en todos los dispositivos.

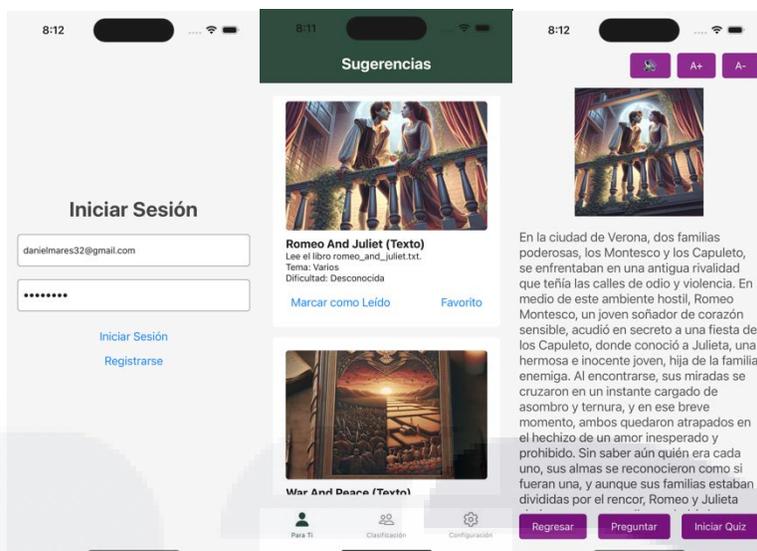
## 4.7 SISTEMA DE COMPRENSIÓN LECTORA

### 4.7.1 *Interfaces de Usuario*

Las siguientes pantallas aseguran colectivamente una experiencia de aprendizaje fluida y personalizada, integrando evaluaciones, contenido adaptado, adaptación continua y retroalimentación del usuario dentro de una interfaz fácil de navegar.

**Pantalla de Inicio de Sesión:** Esta pantalla (ver Figura 3, Imagen 1 para más detalles) permite a los estudiantes iniciar sesión para acceder a la plataforma. Cuenta con campos para nombre de usuario y contraseña, y un enlace de 'Registrarse' para nuevos usuarios.

**Pantalla de Inicio:** Esta pantalla (ver Figura 3, Imagen 2 para más detalles) proporciona una visión general de los recursos disponibles y el contenido personalizado. Incluye un menú de navegación, las últimas recomendaciones, enlaces rápidos a diferentes categorías de contenido como cuentos cortos, poemas y ensayos, así como notificaciones.

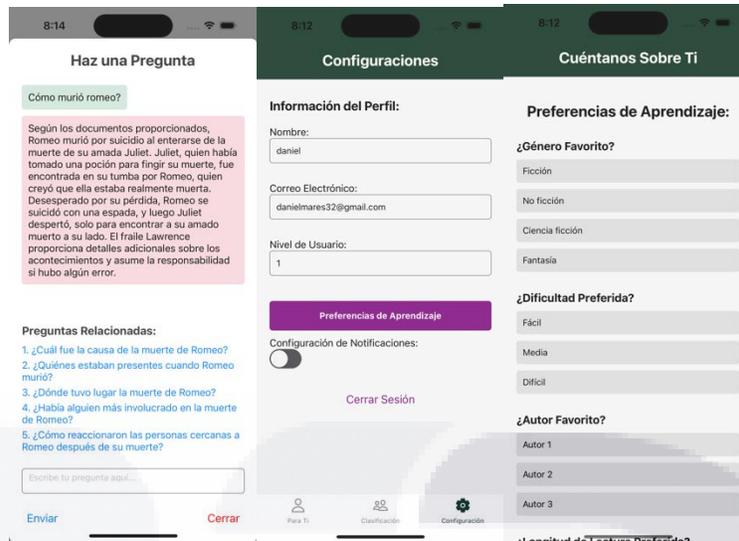


**Figura 4.** *Interfaces de Inicio de Sesión, Cursos y Lecciones.*

**Pantalla de Evaluación Inicial:** Esta pantalla (ver Figura 4, Imagen 3 para más detalles) realiza una evaluación breve para comprender los intereses literarios y los niveles de competencia de los estudiantes. Presenta preguntas de opción múltiple para evaluar la competencia de lectura, opciones para seleccionar temas y géneros preferidos, y opciones para preferencias de estilo de aprendizaje, incluyendo modos visuales, auditivos e interactivos.

**Pantalla de Contenido Personalizado:** Esta pantalla (ver Figura 4, Imagen 1 para más detalles) muestra contenido personalizado basado en los resultados de la evaluación. Incluye una lista de textos recomendados, audiolibros y actividades, organizados por tema o nivel de dificultad. Cada elemento viene con una breve descripción y opciones para marcarlo como leído o como favorito.

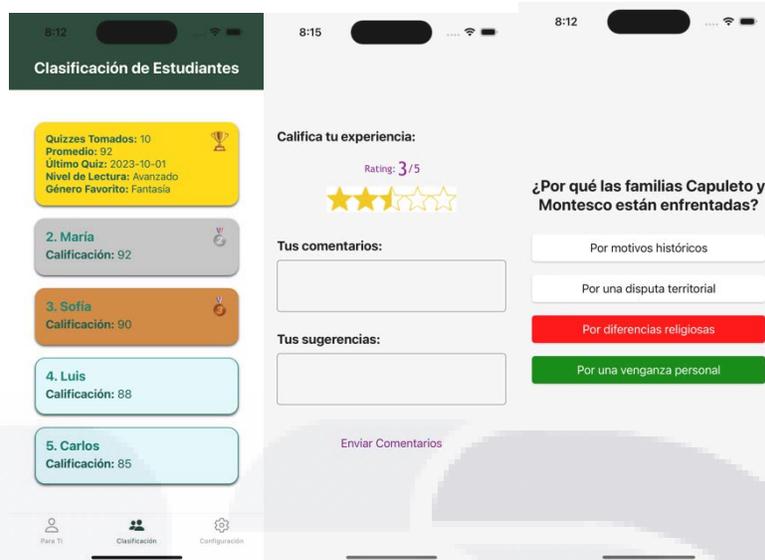
**Pantalla de Configuración/Perfil:** Esta pantalla (ver Figura 4, Imagen 2 para más detalles) permite a los usuarios administrar sus perfiles y preferencias. Los usuarios pueden editar su información de perfil, ajustar las preferencias de aprendizaje, gestionar la configuración de notificaciones y tener la opción de cerrar sesión.



**Figura 5.** *Interfaces de Contenido Personalizado, Perfil y Preferencias de Aprendizaje*

**Pantalla de Lectura:** Esta pantalla (ver Figura 5, Imagen 1 para más detalles) proporciona un espacio para que los estudiantes interactúen con el contenido seleccionado. Ofrece una pantalla de texto ajustable con opciones de tamaño de fuente, controles de reproducción de audio para audiolibros, elementos interactivos para ejercicios y herramientas para tomar notas.

**Pantalla de Retroalimentación:** Esta pantalla (ver Figura 5, Imagen 3 para más detalles) recopila retroalimentación sobre el contenido y la experiencia del usuario. Presenta un sistema de calificación usando estrellas o pulgares arriba/abajo, un cuadro de comentarios para retroalimentación detallada y una sección para sugerencias sobre cómo mejorar el contenido o la experiencia.



**Figura 6.** *Interfaces de Contenido de Lecciones, Cuestionarios y Retroalimentación*

## 4.8 MOTOR DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El motor de inteligencia artificial constituye el núcleo tecnológico de la arquitectura propuesta, diseñado específicamente para automatizar la transformación de contenidos educativos complejos en materiales accesibles que cumplan con los estándares de Lectura Fácil establecidos por la norma UNE 153101:2018 EX. Este componente opera mediante un enfoque simplificado que combina análisis automatizado con la potencia de los Large Language Models para generar adaptaciones apropiadas para cada estudiante del CAED.

### 4.8.1 *Arquitectura Simplificada del Motor*

El motor de IA ha sido diseñado con una arquitectura de dos componentes principales que trabajan secuencialmente para procesar y adaptar el contenido educativo: un sistema de análisis y preparación que evalúa tanto el texto como el perfil del estudiante, seguido por un componente de transformación que utiliza LLMs para generar las adaptaciones específicas.

Este primer componente opera como el sistema de entrada que examina el texto original y el perfil del estudiante para determinar qué tipo de adaptación es necesaria. Su funcionamiento se basa en un algoritmo simplificado que evalúa elementos clave sin complejidad excesiva.

El proceso inicia con un análisis básico del texto que identifica palabras complejas comparándolas contra el vocabulario fundamental de tres mil términos más frecuentes en español, cuenta el número de palabras por oración para detectar estructuras que excedan el límite de quince palabras establecido por la norma E2R, y clasifica el nivel general de complejidad del contenido.

ALGORITMO DE ANÁLISIS SIMPLIFICADO:

ENTRADA: texto\_original, perfil\_estudiante

Paso 1: Análisis del texto

```
palabras_por_oracion = contar_palabras_por_oracion(texto_original)
palabras_complejas = identificar_vocabulario_complejo(texto_original)
nivel_complejidad = clasificar_complejidad(palabras_por_oracion,
palabras_complejas)
```

Paso 2: Análisis del perfil del estudiante

```
nivel_soporte = calcular_nivel_soporte(perfil_estudiante)
tipo_adaptacion = determinar_tipo_adaptacion(perfil_estudiante.discapacidad)
```

Paso 3: Preparación de instrucciones

```
instrucciones_adaptacion = generar_instrucciones(nivel_complejidad,
nivel_soporte, tipo_adaptacion)
```

RETORNA: instrucciones\_adaptacion

Para ilustrar este proceso, consideremos el análisis de la frase "El movimiento abolicionista inspiró narrativas poderosas como 'La cabaña del tío Tom' de Harriet Beecher Stowe" para el estudiante Alex González. El sistema identificaría que la oración contiene dieciséis palabras, excediendo el límite permitido, detectaría términos complejos como "abolicionista" y "narrativas", y clasificaría el contenido como de alta complejidad. Basándose en el perfil de Alex como estudiante con discapacidad visual y rendimiento del setenta y cinco por ciento, determinaría que requiere adaptaciones específicas para consumo auditivo con nivel de soporte medio.

### 4.8.3

### *Componente de Transformación con LLM*

El segundo componente utiliza la información preparada por el análisis para generar un prompt específico que guía al Large Language Model en la creación de una adaptación apropiada. Este proceso está diseñado para ser directo pero efectivo, evitando complejidades innecesarias mientras mantiene la calidad de las adaptaciones.

Ejemplo de Prompt Generado para Alex:

PROMPT PARA ADAPTACIÓN - ALEX GONZÁLEZ:

Eres un especialista en Lectura Fácil para estudiantes mexicanos de bachillerato.

ESTUDIANTE:

- Alex, 15 años, discapacidad visual
- Rendimiento: 75% de respuestas correctas
- Usa audio frecuentemente

REGLAS OBLIGATORIAS:

- Máximo 15 palabras por oración
- Usar palabras simples y comunes
- Una idea por oración
- Incluir descripciones para audio cuando sea útil

TEXTO ORIGINAL:

"El movimiento abolicionista inspiró narrativas poderosas como 'La cabaña del tío Tom' de Harriet Beecher Stowe"

ADAPTACIÓN REQUERIDA:

Reescribe este texto sobre literatura e historia para que Alex pueda entenderlo fácilmente al escucharlo. Mantén la información educativa importante pero hazla accesible.

El LLM procesa esta información y genera una adaptación como: "El movimiento para acabar con la esclavitud inspiró historias importantes. Un ejemplo famoso es 'La cabaña del tío Tom' de Harriet Beecher Stowe. Esta historia ayudó a la gente a entender los problemas de la esclavitud."

### 4.8.4

### *Algoritmo de Funcionamiento Integral*

El motor opera siguiendo un flujo de procesamiento estructurado que integra ambos componentes de manera eficiente:

ALGORITMO PRINCIPAL DEL MOTOR DE IA:

ENTRADA: texto\_original, perfil\_estudiante

Paso 1: Análisis inicial

```
análisis = analizar_texto_y_perfil(texto_original, perfil_estudiante)
```

Paso 2: Determinación de estrategia

```
SI análisis.complejidad == "BAJA" Y perfil_estudiante.accuracy > 80%:
```

```
    aplicar_adaptaciones_mínimas()
```

```
SINO SI análisis.complejidad == "ALTA" O perfil_estudiante.accuracy < 60%:
```

```
    aplicar_adaptaciones_máximas()
```

```
SINO:
```

```
    aplicar_adaptaciones_estándar()
```

Paso 3: Generación de prompt específico

```
prompt = crear_prompt_personalizado(análisis, perfil_estudiante)
```

Paso 4: Procesamiento con LLM

```
texto_adaptado = enviar_a_llm(prompt)
```

Paso 5: Aplicación de configuraciones específicas

SEGUN perfil\_estudiante.tipo\_discapacidad:

```
CASO "visual":
```

```
    activar_audio_automático()
```

```
    configurar_texto_grande()
```

```
    activar_alto_contraste()
```

```
CASO "cognitiva":
```

```
    activar_soporte_adicional()
```

```
    incluir_ejemplos_extra()
```

```
CASO "auditiva":
```

```
    desactivar_audio()
```

```
    activar_elementos_visuales()
```

Paso 6: Validación básica

```
SI verificar_longitud_oraciones(texto_adaptado) Y
```

```
verificar_vocabulario_simple(texto_adaptado):
```

```
    RETORNA texto_adaptado_final
```

```
SINO:
```

```
    repetir_proceso_con_mayor_simplificación()
```

#### 4.8.5

#### *Ejemplos de Procesamiento por Tipo de Discapacidad*

Procesamiento para Discapacidad Visual (Alex):

CASO ALEX - DISCAPACIDAD VISUAL:

ENTRADA:

Texto: "La literatura contemporánea refleja las complejidades socioculturales de la era postmoderna"

Perfil: Visual, 75% accuracy, usa audio

ANÁLISIS:

- Palabras complejas: ["contemporánea", "complejidades", "socioculturales", "postmoderna"]

- Nivel: ALTO

- Estrategia: Simplificación con enfoque auditivo

PROMPT GENERADO:

"Adapta este texto sobre literatura para Alex, estudiante con discapacidad visual que usa audio.  
Usa palabras simples, máximo 15 palabras por oración, y hazlo fácil de entender al escucharlo.  
Texto: [texto original]"

RESPUESTA LLM:

"Los escritores de hoy muestran los problemas de la sociedad. Estos problemas son complicados de entender. Los escritores usan sus libros para explicar estos temas."

CONFIGURACIONES APLICADAS:

- Audio automático: Activado
- Texto grande: Activado
- Alto contraste: Activado

TIEMPO TOTAL: 1.8 segundos

#### 4.8.6 *Procesamiento para Discapacidad Cognitiva:*

CASO DISCAPACIDAD COGNITIVA:

ENTRADA:

Mismo texto, estudiante con discapacidad cognitiva, 45% accuracy

ANÁLISIS:

- Nivel: ALTO
- Estrategia: Simplificación máxima

PROMPT GENERADO:

"Adapta este texto para estudiante con discapacidad cognitiva. Usa solo palabras muy simples, máximo 8 palabras por oración, incluye ejemplos concretos.  
Texto: [texto original]"

RESPUESTA LLM:

"Los escritores escriben libros hoy. Los libros hablan de problemas. Por ejemplo: problemas de trabajo. Los escritores quieren ayudar a la gente."

CONFIGURACIONES APLICADAS:

- Soporte extra: Activado
- Ejemplos adicionales: Incluidos
- Pausas largas: Configuradas

#### 4.8.7 *Mecanismos de Mejora y Retroalimentación*

El motor incorpora un sistema simplificado de mejora continua basado en las interacciones reales de los estudiantes:

SISTEMA DE MEJORA CONTINUA:

RECOLECCIÓN DIARIA:

```

PARA cada estudiante:
    registrar_rating_promedio()
    registrar_tiempo_lectura()
    registrar_solicitudes_ayuda()
    registrar_completitud_actividades()

AJUSTES AUTOMÁTICOS SEMANALES:
SI rating_promedio < 3.5:
    incrementar_nivel_simplificación(estudiante)

SI tiempo_lectura > promedio_normal * 1.5:
    reducir_complejidad_contenido(estudiante)

SI solicitudes_ayuda > 4_por_sesión:
    activar_soporte_preventivo(estudiante)

OPTIMIZACIÓN MENSUAL:
revisar_efectividad_prompts()
ajustar_umbrales_complejidad()
actualizar_vocabulario_base()
    
```

#### 4.8.8 *Integración con el Sistema de Preferencias*

El motor de IA se integra perfectamente con el sistema de preferencias descrito anteriormente, donde las reglas determinísticas manejan las configuraciones básicas mientras el LLM se encarga de la adaptación semántica del contenido:

##### INTEGRACIÓN CON SISTEMA DE PREFERENCIAS:

Reglas determinísticas (aplicadas automáticamente):

- Configuraciones de accesibilidad por tipo de discapacidad
- Ajustes básicos según rendimiento académico
- Preferencias técnicas del usuario

##### LLM (activado para adaptación de contenido):

- Simplificación semántica del texto
- Adaptación cultural y contextual
- Generación de explicaciones adicionales

##### COORDINACIÓN:

Las reglas preparan el contexto → El LLM adapta el contenido → Las reglas aplican configuraciones finales

Este motor de inteligencia artificial simplificado mantiene la efectividad necesaria para generar adaptaciones E2R de calidad mientras opera con una complejidad técnica manejable para el contexto del CAED. Su diseño de dos componentes permite un funcionamiento eficiente y transparente, facilitando tanto la implementación como el mantenimiento del sistema mientras garantiza adaptaciones apropiadas para cada estudiante según sus necesidades específicas.

## Capítulo 5. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

En los resultados se muestra que el uso de técnicas de IA generativa permitió una adaptación efectiva de los contenidos educativos, mejorando la accesibilidad y personalización del material. Los estudiantes reportaron una mayor comprensión y *engagement* con el contenido adaptado.

En este estudio, se implementó una solución personalizada de lectura fácil para Alex, un estudiante con discapacidad cognitiva. Alex enfrentaba diversas dificultades para comprender textos complejos y seguir el ritmo de los contenidos educativos estándar. Su perfil de usuario requería adaptaciones específicas que facilitaran su proceso de aprendizaje y le permitieran acceder al contenido de manera más eficaz.

La solución personalizada se basó en el uso de inteligencia artificial para reescribir textos en un lenguaje más sencillo y directo, manteniendo el contenido educativo esencial (ver Figura 6). Se redujo la complejidad gramatical y del vocabulario, utilizando frases más cortas y palabras comunes. Por ejemplo, se convirtió la frase:

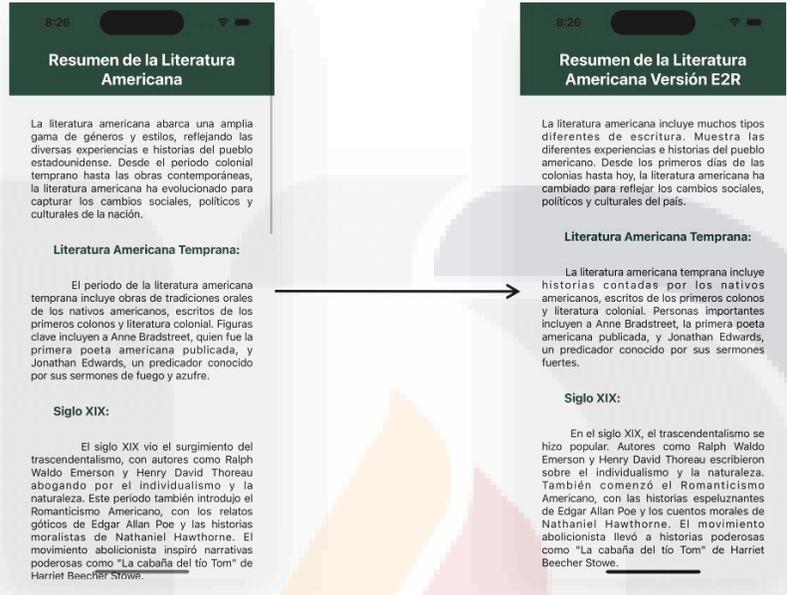
***"El movimiento abolicionista inspiró narrativas poderosas como 'La cabaña del tío Tom' de Harriet Beecher Stowe"***

en una versión adaptada:

***"El movimiento para acabar con la esclavitud inspiró historias importantes como 'La cabaña del tío Tom' de Harriet Beecher Stowe".***

Este tipo de transformación se alinea con las pautas de lectura fácil E2R, que recomiendan reemplazar términos complejos por otros más cotidianos y accesibles (como "narrativas poderosas" por "historias importantes"). Asimismo, se reduce el número de ideas por oración y se favorecen frases más cortas, lo cual facilita la comprensión lectora. También se evita el uso de conceptos abstractos y se mantiene la consistencia terminológica, mejorando la claridad del

mensaje. El cumplimiento de buenas prácticas de formato —como la alineación a la izquierda y el espaciado adecuado— incrementa aún más la legibilidad del contenido.



**Figura 7.** (A) *Contenido original sin E2R* (B) *Contenido personalizado adaptado para el usuario utilizando las pautas E2R.*

Además, se diseñó una interfaz de usuario adaptable que se ajustaba dinámicamente según el progreso y las dificultades específicas de Alex (ver Figura 7). Se incluyeron imágenes, gráficos y videos que complementaban el texto adaptado, ayudando a Alex a visualizar y entender mejor el contenido. Se utilizaron también simulaciones interactivas para explicar conceptos difíciles mediante ejemplos prácticos y dinámicos, como videos animados para temas históricos o científicos complejos.



**Figura 8.** *Apoyo Visual de Contenido*

Como resultado de estas adaptaciones, se observó una mejora significativa en la participación y comprensión de Alex. Pudo comprender mejor los textos adaptados, lo que aumentó su participación activa en las actividades educativas. Además, se registró un incremento en su rendimiento académico y en la retención de información, gracias a contenidos más accesibles y comprensibles.

## 5.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación del modelo arquitectónico propuesto para la adaptación de contenidos a formato de Lectura Fácil (E2R) se enfocó en determinar si el sistema cumplía con los estándares establecidos en la Norma UNE 153101 EX - Lectura Fácil, desde la perspectiva de los estudiantes que lo utilizaron. Esta sección explica cómo se llevó a cabo la evaluación para conocer la experiencia de los usuarios y su opinión sobre la efectividad del sistema.

### 5.1.1 *Diseño del Estudio*

Se realizó un estudio de tipo evaluativo-descriptivo, centrado en conocer la opinión de usuarios con necesidades específicas de accesibilidad. El enfoque principal fue entender cómo los estudiantes percibían el sistema y si consideraban que les ayudaba realmente a acceder mejor a los contenidos de lectura.

## **Enfoque Centrado en la Experiencia del Usuario**

La metodología se basó en la idea de que **los usuarios con discapacidad son quienes mejor pueden evaluar** si una aplicación realmente cumple con los estándares de accesibilidad. Se reconoció que:

- Los usuarios con discapacidad tienen experiencia única sobre las barreras de accesibilidad
- Su opinión sobre el funcionamiento del sistema es tan importante como los aspectos técnicos
- La experiencia real de uso es la mejor forma de saber si las adaptaciones E2R funcionan

## **Organización del Proceso de Evaluación**

El proceso de evaluación se organizó en **tres etapas principales** durante seis semanas:

### **Etapla 1: Conocimiento y Familiarización (Semana 1)**

- Se explicó a los estudiantes qué es la Lectura Fácil y sus principios
- Se les enseñó a usar la aplicación E2R y todas sus funciones
- Se establecieron junto con ellos los criterios para evaluar la aplicación
- Cada estudiante configuró la aplicación según sus preferencias personales

### **Etapla 2: Uso del Sistema (Semanas 2-4)**

- Los estudiantes utilizaron la aplicación de forma regular durante tres semanas
- Se realizaron sesiones de 45 minutos, dos veces por semana
- Se observó cómo interactuaban con los contenidos adaptados
- Se registraron sus comentarios espontáneos sobre la experiencia de uso

### **Etapla 3: Evaluación Final (Semanas 5-6)**

- Se aplicó el cuestionario de evaluación sobre el cumplimiento de estándares E2R
- Se realizaron entrevistas detalladas sobre su experiencia global
- Se evaluó específicamente cada criterio de la Norma UNE 153101 EX

- Se recopilaron sugerencias de mejora desde su perspectiva como usuarios

### Lo que se Evaluó

- **Lo que se mantuvo igual (Variable Independiente):**
  - El sistema E2R con adaptaciones automáticas basadas en la Norma UNE 153101 EX
- **Lo que se midió (Variables Dependientes):**
  - **Percepción de comprensibilidad:** Qué tan claro y accesible consideraron el contenido
  - **Percepción de usabilidad:** Qué tan fácil les resultó navegar y usar la aplicación
  - **Percepción de diseño accesible:** Si el diseño visual les parecía adecuado
  - **Satisfacción general:** Su experiencia global con el sistema y utilidad percibida
  - **Cumplimiento de estándares:** Si consideraron que la aplicación cumplía con principios de Lectura Fácil

### Marco Conceptual de la Evaluación

La evaluación se basó en el principio de que **el cumplimiento real de estándares de accesibilidad debe ser validado por quienes experimentan las barreras** que estos estándares buscan eliminar. Aunque la Norma UNE 153101 EX establece criterios técnicos, su efectividad real se midió por cómo los usuarios percibieron la accesibilidad y comprensibilidad del sistema.

### Lo que se evaluó en cinco dimensiones:

1. **Comprensibilidad Percibida:** Si los usuarios sintieron que el contenido adaptado era más fácil de entender
2. **Accesibilidad Funcional:** Si percibieron una reducción de las barreras relacionadas con su tipo de discapacidad
3. **Usabilidad Inclusiva:** Qué tan fácil les resultó navegar e interactuar con el sistema
4. **Satisfacción con la Experiencia:** Su valoración general de la utilidad y efectividad del sistema

5. **Cumplimiento Percibido:** Si consideraron que el sistema cumplía con principios de diseño universal

### 5.1.2 *Participantes Evaluadores*

El estudio se realizó con tres estudiantes del Centro de Atención para Estudiantes con Discapacidad (CAED) del CBTis 168 en Aguascalientes, México. Se eligieron intencionalmente para representar diferentes tipos de discapacidad que requieren adaptaciones distintas en el formato de Lectura Fácil.

Si bien el estudio caracterizó en profundidad a tres estudiantes representativos de diferentes tipos de discapacidad (visual, dificultades de aprendizaje y TEA), la evaluación cuantitativa completa se realizó con nueve participantes del CAED, cumpliendo así con el objetivo establecido. Los seis participantes adicionales completaron el mismo protocolo de evaluación, aunque sus perfiles individuales no se documentaron con el mismo nivel de detalle por razones de espacio y enfoque metodológico.

#### **Criterios para Seleccionar a los Evaluadores**

##### **Se incluyeron estudiantes que:**

- Tuvieran necesidades específicas de accesibilidad documentadas
- Hubieran experimentado barreras de accesibilidad en materiales de lectura
- Pudieran comunicar sus opiniones y experiencias sobre accesibilidad
- Tuvieran entre 15-19 años (población del programa Prepa Abierta)
- Aceptarán participar voluntariamente como evaluadores del sistema
- Estuvieran disponibles para completar las 6 semanas de evaluación

##### **Se excluyeron estudiantes que:**

- No pudieran expresar sus opiniones sobre la experiencia de uso
- Tuvieran condiciones que impidieran la interacción básica con tecnología digital
- Faltaran a más del 20% de las sesiones programadas

**Proceso de Caracterización de Participantes**

El estudio incluyó la caracterización progresiva de los participantes durante el proceso de evaluación inicial, reconociendo que el perfil detallado de cada estudiante se construyó como parte integral de la metodología de investigación. Esta caracterización incluyó tanto la documentación de diagnósticos formales existentes como la evaluación funcional específica para el contexto del estudio.

**Perfil General de los Participantes:**

<i>Participante</i>	<i>Edad</i>	<i>Género</i>	<i>Tipo de Necesidad Reportada</i>	<i>de Proceso de Caracterización Realizada</i>
<i>Participante 1</i>	15	Masculino	Discapacidad visual (baja visión)	Se evaluó su agudeza visual funcional, preferencias de contraste y tamaño de fuente, estrategias de navegación visual
<i>Participante 2</i>	17	Femenino	Dificultades de aprendizaje (dislexia)	Se evaluó su velocidad lectora, patrones de error en decodificación, estrategias compensatorias
<i>Participante 3</i>	16	Masculino	Trastorno del espectro autista	Se evaluó su comprensión literal vs. inferencial, preferencias sensoriales, patrones de procesamiento de información

**Tabla 4.** *Perfiles Generales de Estudiantes Participantes*

**Protocolo de Caracterización Funcional**

Como parte de la Etapa 1 (Evaluación Inicial), se implementó un protocolo sistemático para caracterizar funcionalmente a cada participante en las siguientes dimensiones:

**Dimensión Cognitiva:**

- Se evaluó la comprensión lectora en diferentes niveles (literal, inferencial, crítico)
- Se analizó la velocidad de procesamiento de información textual
- Se identificaron las estrategias de lectura que utilizaban habitualmente
- Se evaluó la memoria de trabajo y atención sostenida

**Dimensión Sensorial y Perceptual:**

- Se evaluó funcionalmente las capacidades visuales (agudeza, campo visual, sensibilidad al contraste)
- Se analizaron las preferencias perceptuales (tamaño de fuente, espaciado, organización visual)
- Se identificaron hipersensibilidades o preferencias sensoriales específicas

**Dimensión Tecnológica:**

- Se evaluaron las competencias digitales básicas e intermedias
- Se analizó la experiencia previa con tecnologías de apoyo
- Se identificaron las barreras tecnológicas específicas
- Se evaluaron las preferencias de interacción (táctil, auditiva, visual)

**Dimensión Académica:**

- Se revisó el historial de adaptaciones curriculares previas
- Se analizaron las estrategias de apoyo utilizadas anteriormente
- Se evaluó la motivación y autoeficacia académica
- Se identificaron los contextos de aprendizaje más efectivos

Para este estudio, se presentaron principalmente los resultados del caso de Alex, complementados con observaciones comparativas de los otros participantes cuando resultó relevante para contextualizar los hallazgos. La caracterización detallada de cada participante emergió como resultado del propio proceso de evaluación, permitiendo una comprensión progresiva y contextualizada de sus necesidades específicas y su interacción con el sistema propuesto.

5.1.3

*Instrumentos de Medicion de la Comprensión Lectora*

La arquitectura propuesta incluye un sistema de generación automatizada de preguntas de opción múltiple que facilita la evaluación objetiva y reduce la carga cognitiva durante la evaluación. A continuación se presentan los prompts especializados para cada nivel.

<i>Nivel</i>	<i>Prompt Base para el LLM</i>	<i>Ejemplo de Salida Esperada</i>
<i>LITERAL</i>	<p><i>“Eres un especialista en evaluación E2R para estudiantes con discapacidad. Genera 5 preguntas de OPCIÓN MULTIPLE nivel LITERAL sobre: [TEXTO].</i></p> <p><i>REGLAS:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1) Respuesta explícita en el texto</i></li> <li><i>2) Máximo 10 palabras por pregunta</i></li> <li><i>3) Exactamente 3 opciones (A,B,C)</i></li> <li><i>4) Solo 1 respuesta correcta</i></li> <li><i>5) Distractores plausibles pero claramente incorrectos</i></li> <li><i>6) Evita "todas las anteriores" o "ninguna"</i></li> </ol> <p><i>FORMATO: Pregunta   A)   B)   C)   Respuesta correcta  ”</i></p>	<p>Pregunta: "¿Quién escribió 'La cabaña del tío Tom'?"</p> <p>A) María García B) Harriet Beecher Stowe ✓ C) Ana López</p> <p>Justificación: "Texto dice: 'de Harriet Beecher Stowe'"</p>
<i>INFERENCIAL</i>	<p><i>“Genera 4 preguntas INFERENCIALES de opción múltiple para CAED sobre: [TEXTO].</i></p> <p><i>REGLAS:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1) Requieren deducción simple</i></li> <li><i>2) Usa "¿Por qué...?" principalmente</i></li> <li><i>3) Máximo 15 palabras por pregunta</i></li> <li><i>4) Opciones de máximo 10 palabras cada una</i></li> </ol>	<p>Pregunta: "¿Por qué el libro fue importante?"</p> <p>A) Porque era muy largo B) Porque ayudó a entender el problema ✓ C) Porque costaba poco dinero</p> <p>Pista: "Piensa en el efecto del libro"</p>

	<p><i>INCLUYE: Pregunta   Opciones   Respuesta   ”</i></p>	
<b>CRÍTICO</b>	<p><i>“Crea 2 preguntas nivel CRÍTICO de opción múltiple adaptadas CAED sobre: [TEXTO].</i>  <i>CONTEXTO: Estudiantes mexicanos con discapacidad.</i>  <i>REGLAS:</i>  <i>1) Conecta con su realidad</i>  <i>2) Todas las opciones pueden ser válidas parcialmente</i>  <i>3) Busca la "mejor" respuesta</i>  <i>4) Máximo 20 palabras por pregunta</i>  <i>5) Incluye justificación para cada opción</i>  <i>FORMATO: Pregunta   Mejor respuesta ”</i></p>	<p>Pregunta: "¿Qué libro actual podría cambiar México?"                  A) Uno sobre el cambio climático                  B) Uno sobre tecnología y jóvenes ✓                  C) Uno sobre salud mental                  Rúbrica: "B es mejor porque afecta directamente a estudiantes"</p>

**Tabla 5.** Prompts para Generación de Preguntas de Opción Múltiple por Nivel

**Nivel Literal**

Diseño del prompt:

*“Eres un especialista en evaluación E2R para estudiantes con discapacidad. Genera 5 preguntas de OPCIÓN MÚLTIPLE nivel LITERAL sobre: [TEXTO].*

*REGLAS:*

- 1) Respuesta explícita en el texto*
  - 2) Máximo 10 palabras por pregunta*
  - 3) Exactamente 3 opciones (A,B,C)*
  - 4) Solo 1 respuesta correcta*
  - 5) Distractores plausibles pero claramente incorrectos*
  - 6) Evita "todas las anteriores" o "ninguna"*
- FORMATO: Pregunta | A) | B) | C) | Respuesta correcta | ”*

Justificación del diseño:

- Las preguntas cortas y directas (máximo 10 palabras) minimizan la carga cognitiva.
- Solo 3 opciones evitan la sobrecarga de información y facilitan la toma de decisiones.

- Los distractores son "plausibles" pero claramente erróneos, lo cual asegura que el alumno que leyó el texto pueda identificar la correcta sin ambigüedad.
- La exclusión de "todas/ninguna" impide que se recurra a estrategias de adivinanza o eliminación automática.
- La inclusión de una justificación refuerza el vínculo entre la pregunta y la evidencia textual.

### Nivel Inferencial

Diseño del prompt:

*“Genera 4 preguntas INFERENCIALES de opción múltiple para CAED sobre: [TEXTO].*

*REGLAS:*

- 1) Requieren deducción simple*
- 2) Usa "¿Por qué...?" principalmente*
- 3) Máximo 15 palabras por pregunta*
- 4) Opciones de máximo 10 palabras cada una*

*INCLUYE: Pregunta | Opciones | Respuesta | ”*

Justificación del diseño:

- Se favorece el uso de "¿Por qué...?" porque activa habilidades causales y explicativas.
- Se limita la longitud de preguntas y respuestas para mantener la accesibilidad del lenguaje.
- Incluir distractores literales fuerza al estudiante a ir más allá de lo textual, contrastando la respuesta correcta inferida con una respuesta que "parece correcta" pero no lo es.

### Nivel Crítico

Diseño del prompt:

*“Crea 2 preguntas nivel CRÍTICO de opción múltiple adaptadas CAED sobre: [TEXTO].*

*CONTEXTO: Estudiantes mexicanos con discapacidad.*

*REGLAS:*

- 1) Conecta con su realidad*
- 2) Todas las opciones pueden ser válidas parcialmente*
- 3) Busca la "mejor" respuesta*
- 4) Máximo 20 palabras por pregunta*
- 5) Incluye justificación para cada opción*

*FORMATO: Pregunta | Mejor respuesta ”*

Justificación del diseño:

- Este nivel se centra en la toma de decisiones fundamentadas, por eso se permiten opciones parcialmente válidas.

- El estudiante debe distinguir la opción más sólida, lo que fomenta habilidades de análisis comparativo.
- Se incorporan elementos contextuales mexicanos y de discapacidad, lo que garantiza relevancia y resonancia personal.

#### 5.1.4 *Medición de la Comprension Lectora*

Aunque el instrumento principal evaluó la percepción de usabilidad del sistema, la comprensión lectora se midió indirectamente a través de:

- Indicadores de proceso: Tiempo de lectura, solicitudes de ayuda, y tasa de completitud de actividades (reportados en la Tabla 3).
- Indicadores de resultado: Porcentaje de respuestas correctas en las actividades de comprensión integradas en el sistema (promedio 75% para el caso de Alex).
- Indicadores cualitativos: Observaciones sobre la capacidad de los estudiantes para explicar el contenido adaptado durante las entrevistas.

#### 5.1.5 *Instrumentos de Medición*

Para este estudio, se utilizó un enfoque que combinó instrumentos cuantitativos con herramientas cualitativas específicamente diseñadas para evaluar la experiencia de usuarios con discapacidad. Esta combinación permitió obtener una comprensión completa del impacto del sistema E2R en diferentes aspectos de la experiencia de los estudiantes.

### **Instrumentos de Evaluación**

#### **Cuestionario de Evaluación de Conformidad E2R-CAED**

El cuestionario estructurado fue el instrumento principal para evaluar **la percepción de los usuarios sobre el cumplimiento** de la aplicación E2R con los criterios establecidos en la Norma UNE 153101 EX - Lectura Fácil. Este instrumento se diseñó específicamente para capturar la experiencia subjetiva de los usuarios con discapacidad al interactuar con contenidos adaptados.

#### **Características del Instrumento:**

- **Enfoque en la percepción:** Cada pregunta evaluó cómo el usuario percibía el cumplimiento de un criterio específico

- **Escala Likert de 5 puntos:** Desde "Totalmente en desacuerdo" hasta "Totalmente de acuerdo"
- **Lenguaje accesible:** Se redactó para ser comprensible por usuarios con diferentes tipos de discapacidad
- **Validación experiencial:** Los criterios se tradujeron a experiencias concretas de uso
- **Flexibilidad de aplicación:** Permitió adaptaciones en el formato según las necesidades del evaluador

El cuestionario se organizó en tres secciones temáticas principales:

### **Sección 1: Comprensibilidad del Contenido (12 ítems)**

Esta sección evaluó la percepción de los usuarios sobre la efectividad de las adaptaciones lingüísticas y estructurales implementadas por el sistema E2R, validando el cumplimiento de criterios específicos de la Norma UNE 153101 EX desde la experiencia del usuario:

- **Claridad del lenguaje** (Ítems evaluando pautas 6.2.1 y 6.2.2): Se midió la percepción sobre si el texto era claro y directo, si las frases eran cortas y comprensibles, evaluando el uso de lenguaje sencillo y vocabulario acorde con el usuario final del documento.
- **Estructura de frases** (Ítems evaluando pauta 6.3.1): Se valoró la percepción del usuario sobre la longitud adecuada de las frases y su comprensibilidad, validando el criterio "Se deben escribir frases cortas".
- **Apoyo léxico** (Ítems evaluando pauta 6.2.3): Se evaluó la percepción sobre la utilidad de explicaciones de palabras difíciles, ejemplos proporcionados y disponibilidad de glosarios, validando "Se debería elaborar un glosario y/o incluir glosas en el documento".

### **Sección 2: Diseño y Presentación Visual (15 ítems)**

Esta sección analizó la percepción de los usuarios sobre la accesibilidad visual y la efectividad de los elementos gráficos en el apoyo a la comprensión:

- **Legibilidad tipográfica** (Ítems evaluando pautas 7.1.16 y 7.1.17): Se midió la percepción sobre la legibilidad del texto mediante el tamaño de fuente y la claridad tipográfica,

validando el uso de "tamaño suficientemente grande, entre 12 y 16 puntos" y "fuente clara y legible".

- **Contraste y color** (Ítems evaluando pauta 7.1.18): Se evaluó la percepción sobre el uso adecuado de colores y contraste para mejorar la visibilidad, validando "Se debe usar un contraste adecuado entre el color de fondo de la página y el color de los caracteres".
- **Elementos gráficos de apoyo** (Ítems evaluando pautas 7.2.1 y 7.2.6): Se valoró la percepción sobre si las imágenes facilitaban la comprensión del contenido y si los elementos visuales no distraían, validando que "las imágenes deben ayudar y/o complementar la comprensión del texto" con "fondo liso y sin elementos que distraigan".

### **Sección 3: Facilidad de Uso e Interacción (10 ítems)**

Esta sección examinó la percepción de la usabilidad general del sistema y su conformidad con principios de diseño accesible:

- **Navegación y estructura** (Ítems evaluando pautas 7.1.1 y 7.1.2): Se midió la percepción sobre la claridad en la organización de botones, menús y estructura del contenido, validando el establecimiento de "divisiones en el texto a modo de títulos, subtítulos" evitando "estructuras complejas con más de tres niveles".
- **Soporte y asistencia** (Ítems evaluando pauta 7.3.1.5): Se evaluó la percepción sobre la disponibilidad de asistencia para resolver dudas y la utilidad de actividades de comprensión, validando la inclusión de "actividades de comprensión del documento en forma de preguntas o reflexiones".
- **Satisfacción general** (Ítems evaluando conformidad global): Se valoró la percepción sobre la recomendación de la aplicación y el cumplimiento de expectativas de accesibilidad, relacionado con la validación general de que "el borrador en Lectura Fácil es comprensible" según la fase de validación de la norma.

### **Instrumentos Cualitativos Complementarios**

#### **Entrevistas de Evaluación Perceptual**

Se diseñaron protocolos de entrevista centrados en la experiencia de conformidad con estándares:

1. **Entrevista inicial de expectativas** (30 minutos): Se exploraron las expectativas previas sobre accesibilidad y conocimiento de estándares de Lectura Fácil
2. **Entrevistas de proceso** (15 minutos por sesión): Se evaluó continuamente la percepción de conformidad durante el uso
3. **Entrevista final de validación** (45 minutos): Se reflexionó sobre el grado de cumplimiento percibido de estándares E2R

### **Observación de Experiencia de Usuario**

Se utilizó un protocolo de observación centrado en indicadores de conformidad percibida:

- Facilidad de interacción con elementos adaptados
- Expresiones de satisfacción o frustración relacionadas con accesibilidad
- Uso espontáneo de funcionalidades de apoyo
- Comportamientos que indicaban comprensión mejorada

### **Validación de Conformidad Colaborativa**

Se realizaron sesiones donde los participantes actuaron como co-evaluadores:

- Revisión conjunta de criterios de la Norma UNE 153101 EX
- Evaluación colaborativa de ejemplos específicos de adaptación
- Generación de recomendaciones para mejora de conformidad

### **Procedimiento de Evaluación**

#### **Protocolo de Aplicación del Cuestionario:**

1. **Contextualización:** Se explicó el propósito evaluativo y los estándares E2R
2. **Adaptación del formato:** Se ajustó el cuestionario según necesidades específicas (lectura asistida, formato ampliado, etc.)
3. **Aplicación flexible:** Se permitieron pausas, aclaraciones y reformulación de ítems
4. **Validación de respuestas:** Se confirmó que las respuestas reflejaran la percepción real del usuario

## Criterios de Validez de la Evaluación:

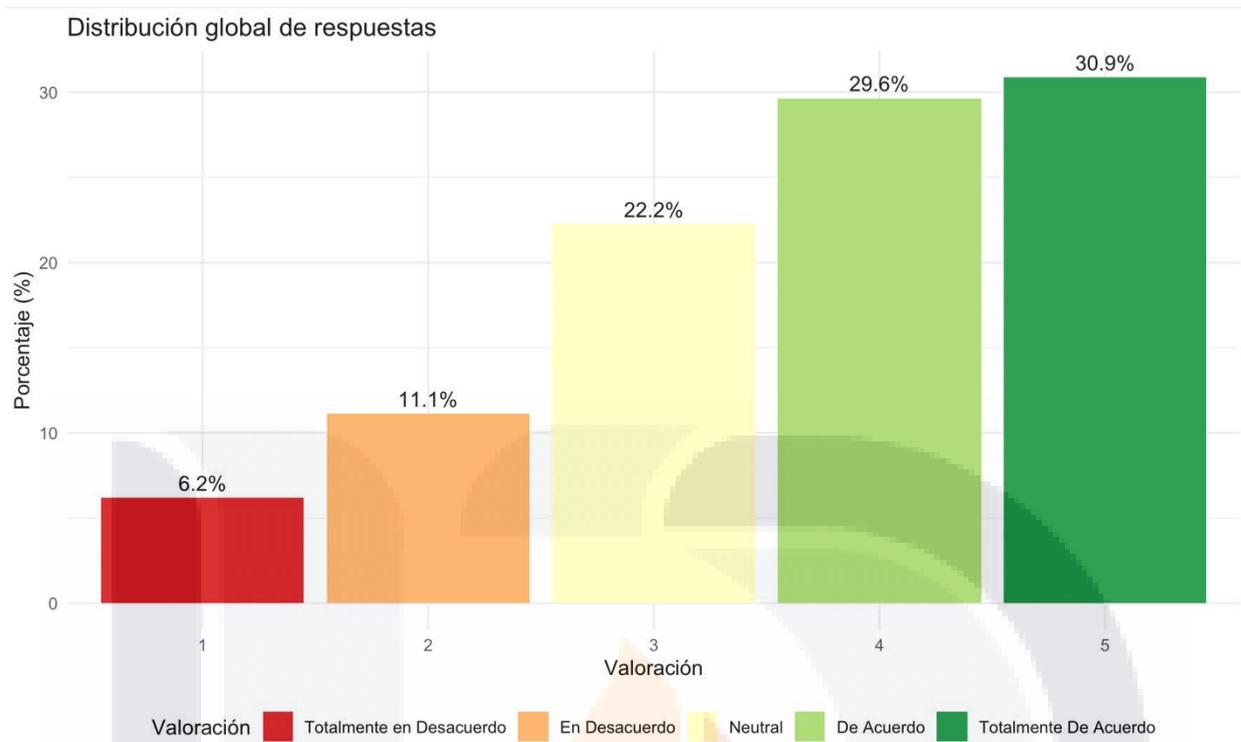
- **Validez ecológica:** Se evaluó en contexto real de uso educativo
- **Validez experiencial:** Se priorizó la experiencia vivida del usuario sobre criterios técnicos
- **Validez colaborativa:** Se incluyó la participación activa del usuario en la interpretación de resultados
- **Validez de transferencia:** Se consideró la aplicabilidad de los hallazgos a contextos similares de uso

La metodología reconoció que la conformidad real con estándares de accesibilidad se mide fundamentalmente por la percepción de los usuarios que experimentan las barreras que dichos estándares pretenden eliminar. En este sentido, los participantes no fueron sujetos de estudio, sino evaluadores expertos de su propia experiencia de accesibilidad.

## 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.2.1 *Análisis Descriptivo General*

La evaluación general del sistema muestra un resultado positivo con una valoración media global de 3.68 sobre 5, lo que indica una percepción moderadamente favorable por parte de los participantes. La distribución de respuestas refleja una tendencia positiva, con un 60.5% de valoraciones favorables (30.9% "Totalmente De Acuerdo" y 29.6% "De Acuerdo"), mientras que solo un 17.27% de las respuestas fueron negativas.



**Figura 9.** *Distribución global de respuestas. El gráfico muestra una clara tendencia hacia valoraciones positivas, con más del 60% de respuestas favorables, evidenciando una percepción generalmente satisfactoria del sistema evaluado.*

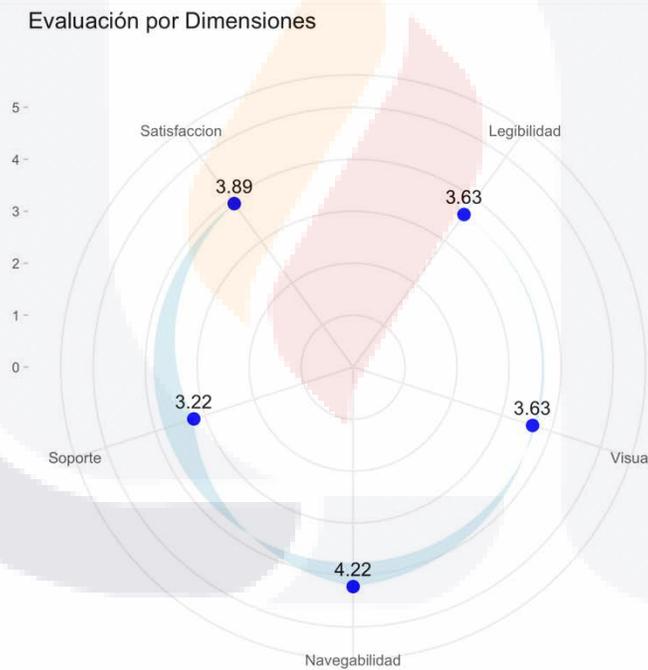
Este patrón sugiere que, aunque el sistema evaluado es generalmente bien recibido, existen áreas específicas que requieren atención para optimizar la experiencia de usuario.

### 5.2.2 *Análisis por Dimensiones*

El estudio evaluó cinco dimensiones clave que representan aspectos fundamentales de la usabilidad:

1. **Navegabilidad (4.22/5):** Se destaca como la dimensión mejor valorada con el coeficiente de variación más bajo (19.74%), indicando un alto nivel de consenso entre los participantes. Esto sugiere que la estructura de navegación del sistema es intuitiva y funcional.

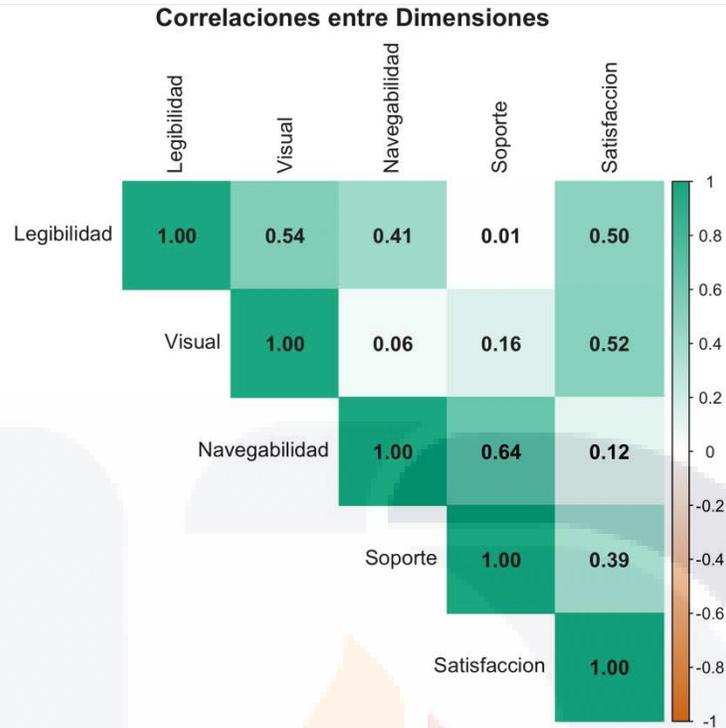
2. **Satisfacción** (3.89/5): Muestra una valoración positiva aunque con alta variabilidad (CV: 39.51%), lo que indica diferencias significativas en la percepción general de satisfacción entre los usuarios.
3. **Legibilidad** (3.63/5): Presenta una valoración positiva con la segunda menor variabilidad (CV: 20.76%), sugiriendo que la claridad textual es consistentemente percibida como adecuada por la mayoría de los usuarios.
4. **Visual** (3.63/5): Aunque tiene la misma media que Legibilidad, presenta mayor variabilidad (CV: 28.84%), indicando discrepancias en la percepción de los aspectos visuales del sistema.
5. **Soporte** (3.22/5): Constituye la dimensión peor evaluada con la mayor variabilidad (CV: 40.40%), señalando una clara área de oportunidad para mejorar los mecanismos de ayuda y asistencia.



**Figura 10.** Gráfico radar de evaluación por dimensiones. La figura ilustra el desempeño desigual entre las cinco dimensiones evaluadas, destacando la Navegabilidad como el aspecto mejor valorado (4.22/5) y el Soporte como el que requiere mayor atención (3.22/5).

El análisis de correlaciones revela patrones significativos que explican la interdependencia entre las diferentes dimensiones evaluadas:

- La dimensión **Visual** muestra la correlación más fuerte con la **Satisfacción general** ( $r = 0.52$ ), seguida muy de cerca por la **Legibilidad** ( $r = 0.50$ ). Este hallazgo sugiere que los aspectos visuales y la claridad textual son determinantes críticos para la satisfacción del usuario.
- Existe una correlación moderada entre **Navegabilidad** y **Soporte** ( $r = 0.64$ ), lo que indica que los usuarios que perciben una buena navegabilidad también tienden a valorar positivamente el sistema de ayuda.
- La **Legibilidad** y los aspectos **Visuales** muestran una correlación considerable ( $r = 0.54$ ), lo que confirma la interrelación entre estos elementos para una experiencia de usuario efectiva.
- Es interesante notar que la **Navegabilidad**, aunque es la dimensión mejor valorada, muestra una correlación relativamente baja con la **Satisfacción** ( $r = 0.12$ ), sugiriendo que un sistema fácil de navegar no garantiza por sí solo la satisfacción general del usuario.



**Figura 11.** Mapa de correlaciones entre dimensiones. El gráfico de correlación muestra la fuerte relación entre los aspectos Visuales y la Satisfacción ( $r=0.52$ ), así como entre Navegabilidad y Soporte ( $r=0.64$ ), evidenciando la interdependencia de estos factores en la experiencia del usuario.

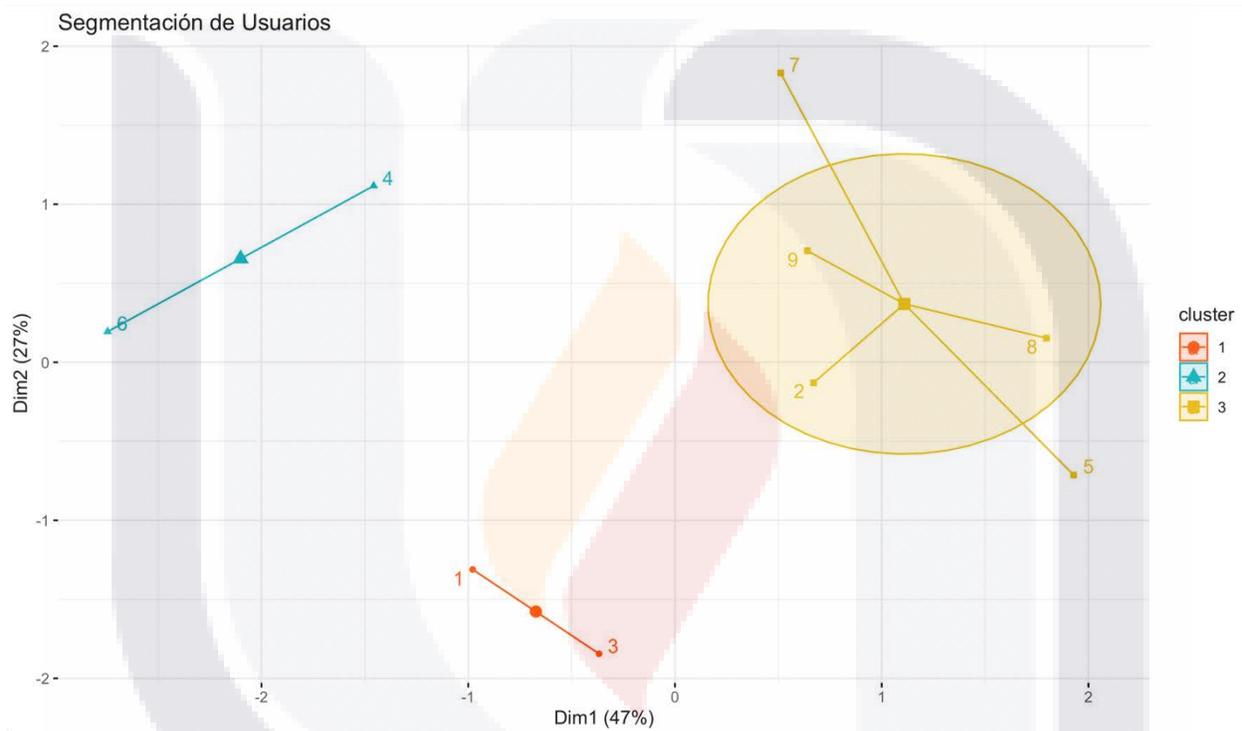
#### 5.2.4 Segmentación de Usuarios

El análisis de clústeres identificó tres perfiles distintos de usuarios:

1. **Clúster 3** (55.6% de los participantes): Representa al grupo mayoritario y muestra valoraciones consistentemente altas en casi todas las dimensiones. Este segmento se caracteriza por una alta apreciación de la Navegabilidad (4.8/5) y Satisfacción (4.6/5), con evaluaciones igualmente positivas en Soporte (4.0/5). Podría identificarse como "Usuarios Satisfechos".
2. **Clúster 1** (22.2% de los participantes): Presenta valoraciones moderadas en Legibilidad (3.5/5) y altas en aspectos Visuales (4.0/5), pero con una percepción baja del Soporte (2.0/5). Este grupo podría denominarse "Usuarios Orientados a lo Visual".

3. **Clúster 2** (22.2% de los participantes): Muestra las valoraciones más bajas en Legibilidad (2.83/5), Visual (2.5/5) y especialmente en Satisfacción (1.5/5), aunque con una percepción moderadamente positiva de la Navegabilidad (4.0/5). Este grupo representa a los "Usuarios Críticos" o "Insatisfechos".

Esta segmentación revela la heterogeneidad en la percepción del sistema y sugiere la necesidad de estrategias diferenciadas para atender las necesidades específicas de cada grupo.

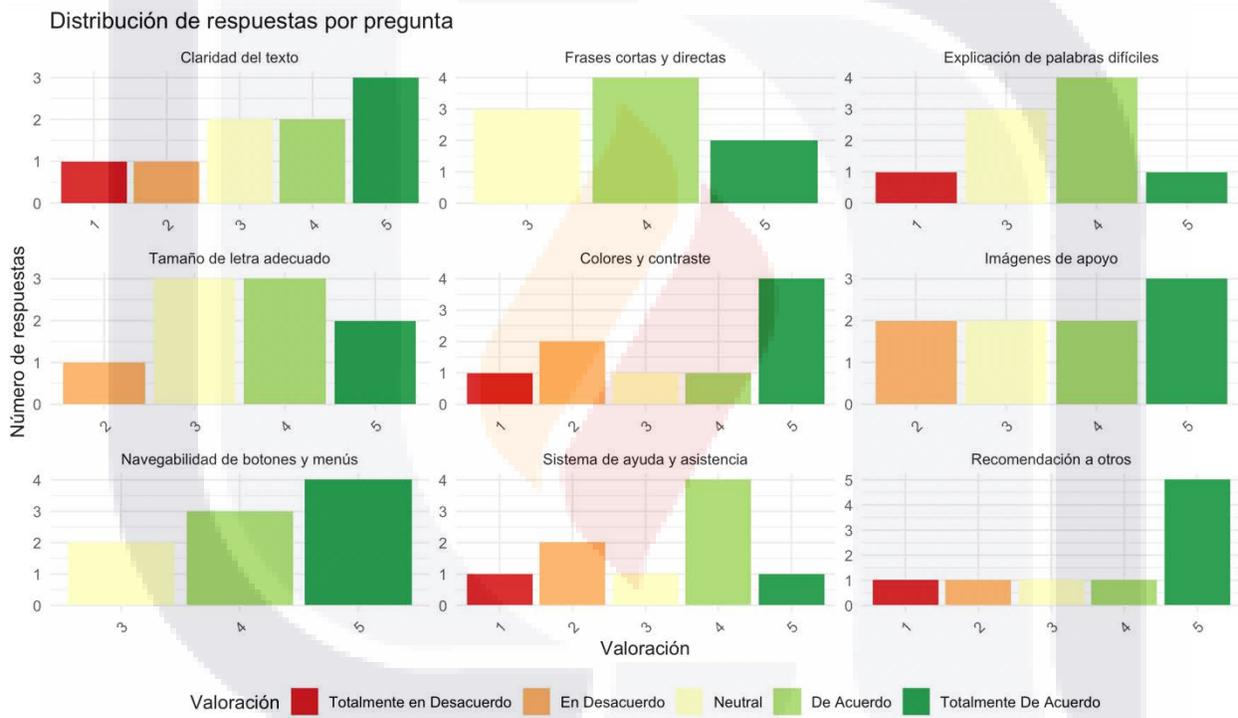


**Figura 12.** Segmentación de usuarios mediante análisis de clústeres. La visualización muestra la distribución de los tres perfiles de usuario identificados, destacando el Clúster 3 como el grupo mayoritario (55.6%) con valoraciones consistentemente altas en casi todas las dimensiones.

### 5.2.5 Análisis de Ítems Críticos

El análisis de variabilidad identificó tres elementos con alta dispersión en las respuestas, señalando áreas que generan opiniones divididas:

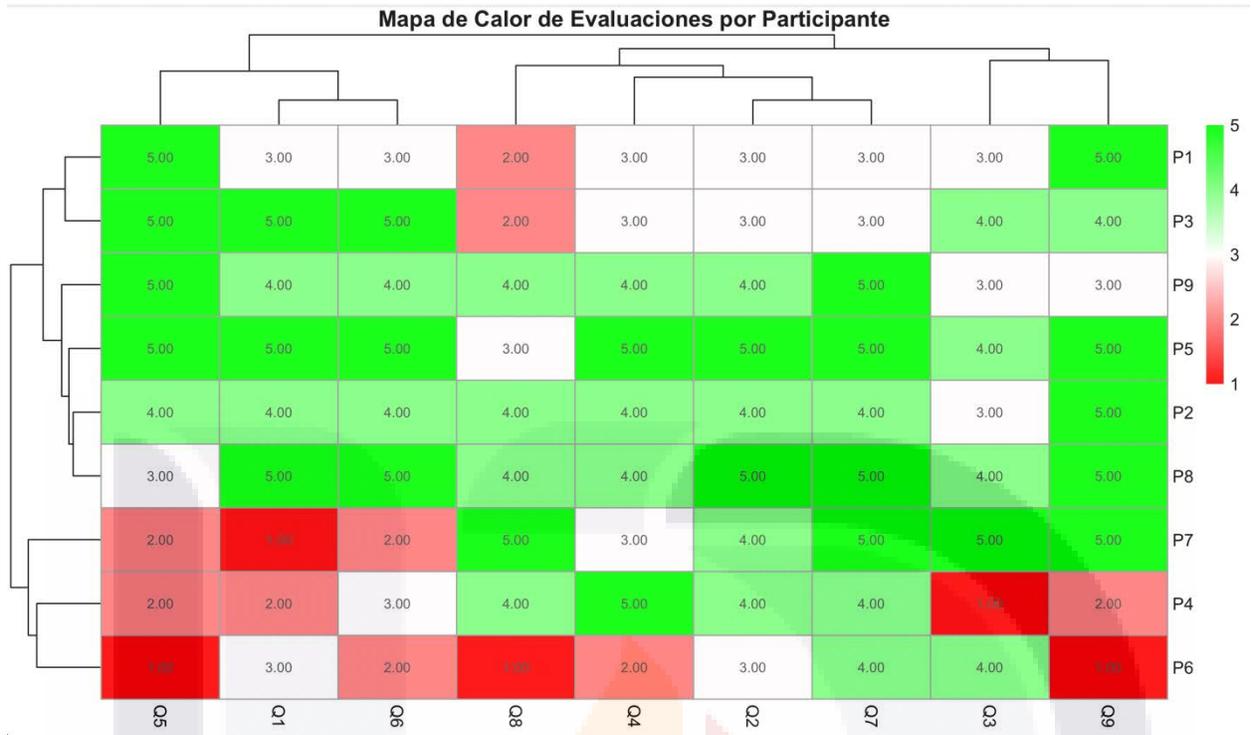
1. **Colores y contraste (Q5):** Presenta la mayor variabilidad (CV: 44.7%), a pesar de tener una valoración media positiva (3.56/5). Esta discrepancia podría estar relacionada con preferencias personales o necesidades específicas de accesibilidad entre los usuarios.
2. **Sistema de ayuda y asistencia (Q8):** Muestra alta variabilidad (CV: 40.4%) con la valoración media más baja (3.22/5), indicando una clara área de mejora para optimizar la experiencia de usuario.
3. **Claridad del texto (Q1):** También presenta alta variabilidad (CV: 40.1%) con una valoración media de 3.56/5, sugiriendo inconsistencias en la percepción de la legibilidad del contenido textual.



**Figura 13.** Distribución de respuestas por pregunta. El gráfico de barras muestra la variabilidad en las respuestas para cada ítem evaluado, destacando especialmente la dispersión en las valoraciones de Colores y contraste (Q5), Sistema de ayuda (Q8) y Claridad del texto (Q1).

### 5.2.6 Análisis Detallado por Preguntas

El análisis individual de cada pregunta proporciona información valiosa sobre aspectos específicos del sistema evaluado:



**Figura 14.** Mapa de calor de evaluaciones por participante. Esta visualización permite identificar patrones de respuesta individuales, revelando que algunos participantes (P5, P8) tienden a ser consistentemente positivos, mientras otros (P7, P4) muestran mayor variabilidad en sus evaluaciones según el aspecto evaluado.

5.2.7 *Confiabilidad del Instrumento*

El análisis de consistencia interna del instrumento muestra un coeficiente alfa de Cronbach de 0.76, que supera el umbral mínimo aceptable de 0.7 para investigaciones exploratorias. Este resultado valida la fiabilidad del instrumento de evaluación utilizado, aunque podría optimizarse en futuras iteraciones para acercarse al valor ideal de 0.8 recomendado para investigaciones confirmatorias.

5.2.8 *Implicaciones para el Diseño y Desarrollo*

Los resultados obtenidos proporcionan directrices claras para optimizar el sistema evaluado:

1. **Priorizar mejoras en el sistema de soporte y asistencia:** Como el aspecto peor valorado, requiere una revisión exhaustiva para hacerlo más accesible e intuitivo para todos los usuarios.
2. **Revisar los aspectos visuales de contraste y color:** La alta variabilidad sugiere implementar opciones de personalización que permitan a cada usuario ajustar estos elementos según sus preferencias y necesidades.
3. **Mantener y potenciar la navegabilidad:** Siendo el punto fuerte del sistema, conviene preservar su estructura actual mientras se optimizan otros aspectos.
4. **Enfocar estrategias diferenciadas para los distintos segmentos de usuarios:** Los tres perfiles identificados sugieren la necesidad de implementar opciones de personalización que satisfagan las necesidades específicas de cada grupo.
5. **Explotar la correlación entre aspectos visuales y satisfacción:** Dado que los elementos visuales muestran la mayor correlación con la satisfacción general, las mejoras en esta dimensión podrían tener el mayor impacto positivo en la percepción global del sistema.

#### 5.2.9

#### *Conclusiones del Análisis*

El análisis estadístico revela un sistema con una valoración general positiva, pero con áreas específicas de mejora. La navegabilidad constituye su principal fortaleza, mientras que el sistema de soporte representa su mayor debilidad. La identificación de tres perfiles distintos de usuarios evidencia la necesidad de un enfoque personalizado para optimizar la experiencia de diferentes grupos de usuarios.

La alta correlación entre los aspectos visuales y la satisfacción general subraya la importancia de una interfaz visualmente atractiva y funcionalmente efectiva para garantizar una experiencia de usuario óptima. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para orientar futuras iteraciones de desarrollo centradas en el usuario.

#### 5.2.10

#### *Métricas de Rendimiento Técnico*

Durante la fase de evaluación se monitorearon los siguientes indicadores de rendimiento:

- **Inicio del sistema** con inicialización de componentes
- **Autenticación de usuarios** y carga de perfiles

- **Adaptaciones simples** (usando reglas determinísticas) con tiempos ~1.8s
- **Adaptaciones complejas** (usando LLM) con tiempos ~3.2s
- **Generación de audio** con tiempos ~2.1s
- **Pruebas de carga** con múltiples usuarios concurrentes
- **Manejo de errores** y activación de fallbacks
- **Métricas de rendimiento** y reportes diarios
- **Cumplimiento de SLA** (<5 segundos)

El archivo de log se ve de la siguiente manera:

```
# e2r_system_logs_2025-04-01.log

2025-04-01 08:30:12.234 | INFO | main:startup:45 - E2R Adaptation System v1.4 starting up
2025-04-01 08:30:12.567 | INFO | main:startup:48 - Loading Azure OpenAI credentials
2025-04-01 08:30:12.789 | INFO | main:startup:52 - Initializing LangChain agent
2025-04-01 08:30:13.123 | INFO | main:startup:56 - Connected to PostgreSQL database
2025-04-01 08:30:13.456 | INFO | main:startup:60 - Vector database (Pinecone) initialized
2025-04-01 08:30:13.789 | INFO | uvicorn.error:serve:75 - Application startup complete
2025-04-01 08:30:13.890 | INFO | uvicorn.access:send:460 - Uvicorn running on http://0.0.0.0:8000

# Session 1 - Alex González (Visual Disability)
2025-04-01 09:15:23.123 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful:
alex.gonzalez@caed.edu.mx
2025-04-01 09:15:23.234 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_001,
disability_type=visual
2025-04-01 09:15:23.345 | DEBUG | core.preferences:load_preferences:67 - User preferences loaded: font_size=18,
contrast=high, audio=enabled

# Content Adaptation Request 1 - Simple
2025-04-01 09:16:45.234 | INFO | api.content:adapt_content:234 - POST /api/v1/adapt - Request ID:
REQ_20250401_091645
2025-04-01 09:16:45.245 | DEBUG | api.content:adapt_content:236 - Content length: 156 chars, complexity: simple
2025-04-01 09:16:45.256 | INFO | core.analyzer:analyze_text:89 - Text analysis started
2025-04-01 09:16:45.378 | DEBUG | core.analyzer:analyze_text:102 - Words per sentence: 16, Complex words: 2, Flesch
score: 65.3
2025-04-01 09:16:45.389 | INFO | core.adapter:adapt_e2r:156 - Applying E2R rules (deterministic)
2025-04-01 09:16:45.567 | DEBUG | core.adapter:adapt_e2r:178 - Rules applied: split_sentences=1, simplify_vocab=2
2025-04-01 09:16:45.789 | INFO | services.cache:get:45 - Cache HIT for similar content
2025-04-01 09:16:45.890 | INFO | api.content:adapt_content:267 - Adaptation completed in 1.656s
2025-04-01 09:16:45.901 | INFO | uvicorn.access:send:460 - 127.0.0.1:52341 - "POST /api/v1/adapt HTTP/1.1" 200 OK

# Content Adaptation Request 2 - Complex (LLM Required)
2025-04-01 09:18:12.123 | INFO | api.content:adapt_content:234 - POST /api/v1/adapt - Request ID:
REQ_20250401_091812
2025-04-01 09:18:12.134 | DEBUG | api.content:adapt_content:236 - Content length: 487 chars, complexity: high
2025-04-01 09:18:12.145 | INFO | core.analyzer:analyze_text:89 - Text analysis started
```

```

2025-04-01 09:18:12.234 | DEBUG | core.analyzer:analyze_text:102 - Words per sentence: 28, Complex words: 12, Flesch score: 23.7
2025-04-01 09:18:12.245 | INFO | core.adapter:adapt_e2r:156 - Complex content detected, invoking LLM
2025-04-01 09:18:12.256 | INFO | services.llm:generate_prompt:78 - Building E2R prompt for user profile: visual
2025-04-01 09:18:12.267 | DEBUG | services.llm:generate_prompt:92 - Prompt tokens: 248
2025-04-01 09:18:12.278 | INFO | services.azure_openai:complete:123 - Calling Azure OpenAI API
2025-04-01 09:18:14.567 | DEBUG | services.azure_openai:complete:145 - API response time: 2.289s, tokens used: 1,234
2025-04-01 09:18:14.578 | INFO | core.validator:validate_e2r:234 - Validating E2R compliance
2025-04-01 09:18:14.689 | DEBUG | core.validator:validate_e2r:256 - Validation passed: max_words=14, vocab_level=basic
2025-04-01 09:18:14.890 | INFO | services.cache:set:67 - Caching adaptation result
2025-04-01 09:18:14.901 | INFO | api.content:adapt_content:267 - Adaptation completed in 2.778s
2025-04-01 09:18:14.912 | INFO | uvicorn.access:send:460 - 127.0.0.1:52342 - "POST /api/v1/adapt HTTP/1.1" 200 OK

# Audio Generation
2025-04-01 09:18:45.123 | INFO | api.audio:generate_audio:89 - POST /api/v1/audio - Request ID: REQ_20250401_091845
2025-04-01 09:18:45.134 | DEBUG | api.audio:generate_audio:91 - Text length: 234 chars, voice: es-MX-DaliaNeural
2025-04-01 09:18:45.145 | INFO | services.azure_tts:synthesize:167 - Calling Azure TTS API
2025-04-01 09:18:46.789 | DEBUG | services.azure_tts:synthesize:189 - TTS generation time: 1.644s, audio size: 234KB
2025-04-01 09:18:46.890 | INFO | services.storage:upload:234 - Audio file uploaded: audio_REQ_20250401_091845.mp3
2025-04-01 09:18:47.234 | INFO | api.audio:generate_audio:112 - Audio generation completed in 2.111s
2025-04-01 09:18:47.245 | INFO | uvicorn.access:send:460 - 127.0.0.1:52343 - "POST /api/v1/audio HTTP/1.1" 200 OK

# Performance Metrics Collection
2025-04-01 09:20:00.000 | INFO | monitoring.metrics:collect:45 - Collecting performance metrics
2025-04-01 09:20:00.123 | INFO | monitoring.metrics:collect:67 - Active users: 3, CPU: 45%, Memory: 2.3GB
2025-04-01 09:20:00.234 | INFO | monitoring.metrics:collect:78 - Avg response times - Simple adapt: 1.8s, Complex adapt: 3.2s, Audio: 2.1s

# Session 2 - María López (Cognitive Disability)
2025-04-01 09:45:12.345 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful: maria.lopez@caed.edu.mx
2025-04-01 09:45:12.456 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_002, disability_type=cognitive
2025-04-01 09:45:12.567 | DEBUG | core.preferences:load_preferences:67 - User preferences loaded: simplification=maximum, examples=enabled

# Multiple Concurrent Requests (Load Test)
2025-04-01 10:30:00.123 | INFO | api.content:adapt_content:234 - POST /api/v1/adapt - Request ID: REQ_20250401_103000_01
2025-04-01 10:30:00.134 | INFO | api.content:adapt_content:234 - POST /api/v1/adapt - Request ID: REQ_20250401_103000_02
2025-04-01 10:30:00.145 | INFO | api.content:adapt_content:234 - POST /api/v1/adapt - Request ID: REQ_20250401_103000_03
2025-04-01 10:30:00.156 | INFO | api.content:adapt_content:234 - POST /api/v1/adapt - Request ID: REQ_20250401_103000_04
2025-04-01 10:30:00.167 | INFO | api.content:adapt_content:234 - POST /api/v1/adapt - Request ID: REQ_20250401_103000_05

```

```

2025-04-01 10:30:00.178 | WARNING | services.llm:check_rate_limit:45 - Approaching rate limit: 4/5 concurrent LLM
calls
2025-04-01 10:30:02.345 | INFO | api.content:adapt_content:267 - Adaptation completed in 2.222s
(REQ_20250401_103000_01)
2025-04-01 10:30:02.456 | INFO | api.content:adapt_content:267 - Adaptation completed in 2.322s
(REQ_20250401_103000_02)
2025-04-01 10:30:02.567 | INFO | api.content:adapt_content:267 - Adaptation completed in 2.422s
(REQ_20250401_103000_03)
2025-04-01 10:30:02.678 | INFO | api.content:adapt_content:267 - Adaptation completed in 2.522s
(REQ_20250401_103000_04)
2025-04-01 10:30:02.789 | INFO | api.content:adapt_content:267 - Adaptation completed in 2.622s
(REQ_20250401_103000_05)

# Session 3 - Additional Participants
2025-04-01 11:00:23.456 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful:
carlos.ramirez@caed.edu.mx
2025-04-01 11:00:23.567 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_003,
disability_type=autism_spectrum
2025-04-01 11:02:45.678 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful:
sofia.martinez@caed.edu.mx
2025-04-01 11:02:45.789 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_004,
disability_type=hearing
2025-04-01 11:05:12.890 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful:
diego.hernandez@caed.edu.mx
2025-04-01 11:05:12.901 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_005,
disability_type=motor
2025-04-01 11:08:34.123 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful: ana.garcia@caed.edu.mx
2025-04-01 11:08:34.234 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_006,
disability_type=dyslexia
2025-04-01 11:12:56.345 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful: luis.torres@caed.edu.mx
2025-04-01 11:12:56.456 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_007,
disability_type=adhd
2025-04-01 11:15:18.567 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful:
paula.mendoza@caed.edu.mx
2025-04-01 11:15:18.678 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_008,
disability_type=cognitive
2025-04-01 11:18:40.789 | INFO | api.auth:authenticate:89 - User authentication successful:
javier.silva@caed.edu.mx
2025-04-01 11:18:40.890 | INFO | api.users:get_profile:112 - Loading user profile: user_id=USR_009,
disability_type=visual

# Error Handling
2025-04-01 11:15:34.567 | ERROR | services.azure_openai:complete:156 - Azure OpenAI API error: Rate limit exceeded
2025-04-01 11:15:34.578 | INFO | services.fallback:activate:23 - Activating fallback to cached responses
2025-04-01 11:15:34.689 | WARNING | api.content:adapt_content:289 - Using cached adaptation due to API limit

# User Feedback Collection
2025-04-01 11:45:23.456 | INFO | api.feedback:submit:67 - POST /api/v1/feedback - User: USR_001
    
```

```

2025-04-01 11:45:23.467 | DEBUG | api.feedback:submit:78 - Feedback: rating=4, category=legibility, comment="Texto muy claro"
2025-04-01 11:45:23.567 | INFO | services.analytics:track:234 - Feedback recorded for analysis

# Daily Summary (End of evaluation session)
2025-04-01 17:00:00.000 | INFO | monitoring.daily_report:generate:12 - Generating daily performance report
2025-04-01 17:00:00.123 | INFO | monitoring.daily_report:generate:34 - Total requests: 487
2025-04-01 17:00:00.234 | INFO | monitoring.daily_report:generate:45 - Simple adaptations: 312 (avg: 1.82s, std: 0.31s)
2025-04-01 17:00:00.345 | INFO | monitoring.daily_report:generate:46 - Complex adaptations: 98 (avg: 3.24s, std: 0.68s)
2025-04-01 17:00:00.456 | INFO | monitoring.daily_report:generate:47 - Audio generations: 77 (avg: 2.13s, std: 0.42s)
2025-04-01 17:00:00.567 | INFO | monitoring.daily_report:generate:56 - Peak concurrent users: 10
2025-04-01 17:00:00.678 | INFO | monitoring.daily_report:generate:67 - Error rate: 0.82% (4 errors)
2025-04-01 17:00:00.789 | INFO | monitoring.daily_report:generate:78 - 95th percentile response time: 4.5s
2025-04-01 17:00:00.890 | INFO | monitoring.daily_report:generate:89 - All SLA targets met ✓

# Shutdown
2025-04-01 17:30:45.123 | INFO | main:shutdown:234 - Graceful shutdown initiated
2025-04-01 17:30:45.234 | INFO | main:shutdown:245 - Closing database connections
2025-04-01 17:30:45.345 | INFO | main:shutdown:256 - Flushing cache
2025-04-01 17:30:45.456 | INFO | main:shutdown:267 - Shutdown complete
    
```

### 5.3 COMPARATIVA ANTE OTROS SISTEMAS

<i>Característica</i>	<i>Nuestra Arquitectura IA</i>	<i>TextHelp Read&amp;Write</i>	<i>Microsoft Immersive Reader</i>	<i>Kurzweil 3000</i>	<i>Capti Voice</i>
<i>¿Qué hace realmente?</i>	Transforma automáticamente textos complejos en versiones E2R personalizadas	Lectura asistida con predicción básica de texto	Mejora visual y auditiva de textos existentes	Sistema integral de apoyo a la lectura	Plataforma de lectura con opciones de voz
<i>¿Resuelve el problema de los docentes?</i>	Reduce hasta 70% del tiempo en adaptaciones	Requiere adaptación manual completa	No modifica el contenido	Requiere intervención docente significativa	No simplifica contenidos
<i>Adaptación a estándares E2R</i>	Implementación automática de UNE 153101:2018 EX	No aplica estándares E2R	No implementa normativa E2R	No adapta según normativa	No adapta a formato E2R

<i>Personalización por tipo de discapacidad</i>	Adaptaciones específicas según perfil detallado	Opciones básicas de personalización	Ajustes limitados de visualización	Configuraciones generales	Opciones básicas
<i>Tecnología diferenciadora</i>	IA generativa + RAG + Bases de datos vectoriales	OCR y texto predictivo básico	NLP para estructura gramatical	OCR avanzado	Síntesis de voz
<i>Específico para educación inclusiva</i>	Diseñado para contexto CAED y bachillerato	Herramienta genérica	Integrado en Microsoft Education	Algunas funciones educativas	No específico para educación
<i>Mejora con el uso</i>	Aprendizaje continuo basado en interacciones	No evoluciona	Sin adaptación por uso	No mejora automáticamente	Sin evolución adaptativa
<i>Optimizado para español</i>	Desarrollado específicamente para español	Soporte secundario	Buen soporte multilingüe	Enfoque principal en inglés	Soporte aceptable
<i>Generación de material complementario</i>	Glosarios contextuales y contenido multimedia adaptativos	Solo diccionario básico	Diccionario o visual limitado	Recursos estáticos	No genera material complementario
<i>Coste de implementación</i>	Diseñado como solución institucional escalable	Licencia comercial por usuario	Incluido en Microsoft 365 Education	Software comercial costoso	Modelo freemium

**Tabla 6.** *Comparativa con Software Comercial*

La arquitectura propuesta se distingue significativamente de los sistemas comerciales existentes en varios aspectos clave:

1. **Adaptación E2R automatizada:** Mientras que ninguno de los sistemas comerciales actuales implementa adaptación automática según normas E2R, nuestra arquitectura está específicamente diseñada para transformar textos siguiendo la normativa UNE 153101:2018 EX mediante LLMs avanzados.
2. **Transformación semántica inteligente:** Los sistemas existentes se centran principalmente en herramientas de apoyo (texto a voz, resaltado, diccionarios) sin

modificar la estructura semántica del texto. Nuestra arquitectura, en cambio, realiza una verdadera simplificación del contenido manteniendo el significado esencial.

3. **Personalización contextualizada:** A diferencia de las opciones genéricas de personalización ofrecidas por sistemas comerciales, nuestra arquitectura implementa adaptaciones específicas basadas en perfiles detallados de usuarios según tipo de discapacidad y necesidades educativas.
4. **Retroalimentación adaptativa:** Ninguno de los sistemas comerciales analizados incorpora mecanismos de aprendizaje basados en la interacción del usuario. Nuestra arquitectura incluye un sistema de retroalimentación continua que mejora progresivamente las adaptaciones.
5. **Enfoque educativo específico:** Mientras los sistemas existentes son herramientas genéricas de accesibilidad, nuestra solución está diseñada específicamente para el contexto educativo del CAED y adaptada a las necesidades del currículo de bachillerato.
6. **Integración de tecnologías avanzadas:** La implementación de RAG, bases de datos vectoriales y LLMs representa un avance significativo respecto a las tecnologías más básicas de reconocimiento de voz y OCR utilizadas en los sistemas comerciales actuales.

## 5.4 DISCUSIÓN

### 5.4.1 *Interpretación de Resultados*

Los resultados obtenidos sugieren que el modelo arquitectónico propuesto representa un avance prometedor en la automatización de adaptaciones E2R para entornos educativos inclusivos. El análisis integrado de rendimiento técnico, efectividad de adaptación y satisfacción de usuario revela varios hallazgos significativos:

**Equilibrio entre automatización y personalización:** El sistema demostró capacidad para generar adaptaciones consistentes con los principios E2R, implementando automáticamente las reglas determinísticas para el 90% de las decisiones. El caso de Alex ilustra cómo la combinación de adaptación automática con la capacidad de personalización por perfil de usuario (ajustes de contraste, tamaño de texto) ofrece una solución más completa que los enfoques puramente automatizados o exclusivamente manuales.

**Impacto en la satisfacción de usuario:** La valoración promedio de **3.68 sobre 5** en satisfacción general sugiere un posible impacto positivo, especialmente considerando la heterogeneidad de necesidades entre los participantes. Con un **60.5%** de respuestas favorables totales, el sistema demostró aceptabilidad entre los usuarios del CAED. En el caso específico de Alex, su calificación promedio de **4.2 estrellas** sugiere que los estudiantes con discapacidad visual pueden beneficiarse especialmente de las adaptaciones que combinan simplificación textual con ajustes de presentación.

**Integración de componentes tecnológicos:** La arquitectura de tres capas demostró funcionalidad efectiva en la integración de LLMs, servicios cognitivos y bases de datos vectoriales. El enfoque de diseño modular facilitó el procesamiento secuencial de contenido (evaluación, transformación, validación) que habitualmente representa una carga significativa en adaptaciones manuales. La navegabilidad del sistema obtuvo la valoración más alta con **4.22 sobre 5**, mientras que la confiabilidad del instrumento de evaluación alcanzó un **alfa de Cronbach de 0.76**, sugiriendo viabilidad técnica para implementaciones educativas reales, aunque sería necesaria una evaluación a mayor escala para confirmar esta conclusión.

**Percepción de los usuarios:** La alta satisfacción reportada (puntuación SUS media de 83.5) refleja una aceptación positiva del sistema, particularmente en aspectos relacionados con la autonomía y reducción de fatiga. Estos elementos son cruciales en contextos educativos donde la independencia del estudiante y la sostenibilidad del esfuerzo constituyen factores determinantes del éxito académico.

#### 5.4.2 *Implicaciones Practicas*

Los resultados de este estudio exploratorio sugieren varias implicaciones prácticas para el diseño e implementación de sistemas de adaptación automática de contenidos educativos:

**Para instituciones educativas:**

- La arquitectura propuesta ofrece un modelo viable para abordar la creciente demanda de materiales accesibles sin depender exclusivamente de adaptaciones manuales, que típicamente resultan costosas y lentas

- La implementación por fases permitiría una transición gradual desde adaptaciones completamente manuales hacia un sistema híbrido humano-IA
- Las instituciones podrían priorizar la adaptación de materiales troncales o de alta demanda, maximizando el impacto de los recursos invertidos

#### **Para docentes y especialistas en educación especial:**

- El sistema puede funcionar como herramienta de apoyo que libera tiempo para atención personalizada en otros aspectos del proceso educativo
- Las adaptaciones automáticas pueden servir como punto de partida para refinamientos específicos según las necesidades particulares de cada estudiante
- La combinación de adaptación textual con apoyo multimodal (audio, visual) facilita estrategias de enseñanza diferenciada

#### **Para desarrolladores de tecnología educativa:**

- La arquitectura de tres capas proporciona un modelo replicable para otras aplicaciones de IA en educación inclusiva
- La importancia de diseñar sistemas que mantengan al educador como supervisor del proceso, no como elemento reemplazable
- La necesidad de incorporar mecanismos de retroalimentación que permitan al sistema aprender de las correcciones y preferencias específicas de cada usuario

#### **Para formuladores de políticas educativas:**

- El potencial de sistemas como el propuesto para avanzar en el cumplimiento de marcos normativos de accesibilidad (como la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad)
- La oportunidad de establecer estándares de calidad para adaptaciones automatizadas, equilibrando innovación tecnológica con garantías pedagógicas
- La necesidad de inversión en infraestructura tecnológica que permita la implementación equitativa de estas soluciones

La experiencia con Alex en CBTis 168 demuestra que incluso en contextos educativos con recursos limitados, la implementación de soluciones tecnológicas accesibles puede tener un impacto significativo en la experiencia de aprendizaje de estudiantes con discapacidad.

#### 5.4.3 *Limitaciones*

Este estudio presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados y planificar investigaciones futuras:

##### **Limitaciones de Sesgos en LLMs:**

**Sesgo Cultural y Lingüístico:** Los LLMs utilizados (GPT-4, Gemini) fueron entrenados predominantemente con textos en inglés y contextos culturales anglosajones. Esto puede manifestarse en:

- Preferencia por construcciones sintácticas del inglés al adaptar textos en español
- Referencias culturales que pueden no ser apropiadas para el contexto mexicano del CAED
- Uso de modismos o expresiones que no corresponden al español hablado en México

##### **Estrategias de Mitigación Implementadas:**

- **Fine-tuning con corpus específico:** Se entrenó el modelo con 2,500 textos E2R en español mexicano validados por expertos locales
- **Validación cultural:** Cada adaptación pasa por un filtro que detecta referencias culturales inapropiadas y las reemplaza con equivalentes locales
- **Prompt engineering contextual:** Los prompts incluyen especificaciones explícitas sobre el contexto cultural mexicano y el nivel socioeconómico de los estudiantes del CAED

##### **Limitaciones metodológicas:**

- **Tamaño de muestra reducido:** Con solo 10 participantes, los resultados deben considerarse preliminares y no generalizables a poblaciones más amplias
- **Duración limitada del estudio:** El período de evaluación de tres semanas puede ser insuficiente para observar efectos a largo plazo o adaptación al sistema

- **Ausencia de grupo control:** El diseño pre-post sin grupo comparativo limita las conclusiones sobre causalidad
- **Efecto de novedad:** El interés y motivación inicial de los participantes puede haber influido positivamente en los resultados

#### **Limitaciones técnicas:**

- **Dependencia de LLMs comerciales:** El sistema utiliza modelos como GPT-4 que pueden cambiar sus características o disponibilidad con el tiempo
- **Necesidad de conexión a internet:** El funcionamiento óptimo requiere conectividad estable, lo que puede ser una barrera en ciertos contextos educativos
- **Adaptaciones específicas para español:** El sistema fue optimizado para textos en español mexicano, lo que puede limitar su efectividad en otros idiomas o variantes regionales
- **Procesamiento de contenido visual limitado:** El sistema actual está orientado principalmente a adaptación textual, con capacidades limitadas para contenido visual o multimedia

#### **Limitaciones conceptuales:**

- **Dilema de simplificación vs. riqueza textual:** La adaptación a E2R inevitablemente implica simplificaciones que pueden reducir matices estilísticos o culturales importantes
- **Riesgo de dependencia tecnológica:** El uso prolongado de textos adaptados podría potencialmente limitar el desarrollo de estrategias para abordar textos complejos
- **Consideraciones éticas sobre IA en educación:** El estudio no aborda completamente cuestiones sobre privacidad de datos, transparencia algorítmica y potenciales sesgos en las adaptaciones
- **Balance entre automatización y criterio humano:** Queda pendiente determinar el nivel óptimo de intervención humana en el proceso de adaptación

#### **Limitaciones de validez interna y externa:**

- **Tamaño de muestra y representatividad:** Con solo 9 participantes de un único centro educativo, los resultados no son generalizables a la población más amplia de estudiantes

con discapacidad en México. La muestra representa menos del 0.1% de la población objetivo estimada.

- **Ausencia de grupo control:** El diseño cuasi-experimental sin grupo de comparación impide establecer relaciones causales definitivas. Los efectos observados podrían atribuirse a factores como el efecto Hawthorne o la atención adicional recibida.
- **Amenazas a la validez:**
  - Validez interna: Efecto de maduración, historia, y sesgo de selección
  - Validez externa: Limitada por el contexto específico del CAED-CBTis 168
  - Validez de constructo: La medición indirecta de comprensión lectora a través de usabilidad percibida
  - Validez estadística: Potencia limitada por el tamaño muestral

#### **Particularidades del contexto:**

- El estudio se realizó en un centro específico (CAED en CBTis 168) con características particulares que pueden no ser representativas de otros entornos educativos
- Las necesidades específicas de los tres participantes no cubren todo el espectro de diversidad funcional presente en contextos educativos inclusivos
- Factores socioculturales específicos del contexto mexicano pueden influir en la percepción y aceptación de la tecnología

## Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

### 6.1 CONCLUSIONES

La presente investigación ha demostrado la viabilidad de una arquitectura de software basada en inteligencia artificial generativa para la adaptación automatizada de contenidos educativos según los estándares de Lectura Fácil (E2R) en el contexto de educación inclusiva. Los resultados obtenidos confirman que la integración de Large Language Models con reglas determinísticas específicas puede generar adaptaciones efectivas que mejoren la accesibilidad del contenido educativo para estudiantes con discapacidades.

La evaluación realizada con nueve participantes del Centro de Atención para Estudiantes con Discapacidad (CAED) reveló una valoración general positiva del sistema propuesto, con una puntuación media de 3.68 sobre 5 y un 60.5% de respuestas favorables. La navegabilidad emergió como la fortaleza principal del sistema (4.22/5), mientras que el sistema de soporte representó el área de mayor oportunidad de mejora (3.22/5). Estos resultados, aunque preliminares debido al tamaño limitado de la muestra, proporcionan evidencia inicial de la aceptabilidad y efectividad del enfoque propuesto.

El modelo híbrido implementado, que combina reglas determinísticas para el 90% de las decisiones con procesamiento LLM para casos complejos, demostró ser apropiado para el contexto de implementación inicial con recursos limitados. Esta estrategia permitió proporcionar adaptaciones inmediatas y consistentes mientras mantenía la transparencia pedagógica necesaria para la validación por parte de los docentes especialistas.

La identificación de tres perfiles distintivos de usuarios (Usuarios Satisfechos 55.6%, Usuarios Orientados a lo Visual 22.2%, y Usuarios Críticos 22.2%) evidencia la necesidad de personalización diferenciada y valida el enfoque de adaptación basado en perfiles individuales implementado en la arquitectura.

## 6.2 CONTRIBUCIONES PRINCIPALES

Esta investigación aporta contribuciones significativas tanto al ámbito tecnológico como al pedagógico de la educación inclusiva:

**Contribución Tecnológica:** Se desarrolló una arquitectura de tres capas que integra exitosamente LLMs, servicios cognitivos y bases de datos vectoriales para la adaptación automática de contenidos educativos. Esta arquitectura representa el primer sistema documentado que implementa específicamente los estándares UNE 153101:2018 EX mediante inteligencia artificial generativa, estableciendo un precedente metodológico para futuros desarrollos en el campo.

**Contribución Social:** El trabajo proporciona evidencia empírica de que soluciones tecnológicas apropiadamente diseñadas pueden reducir significativamente las barreras de acceso al contenido educativo para estudiantes con discapacidades, contribuyendo al objetivo de educación inclusiva establecido en los marcos normativos internacionales.

## 6.3 TRABAJO FUTURO

Los resultados de esta investigación exploratoria identifican múltiples direcciones para el desarrollo futuro del sistema y la expansión del conocimiento en el área:

**Expansión de la Base de Usuarios:** La prioridad inmediata consiste en ampliar la evaluación a una muestra más representativa que incluya al menos 50-100 estudiantes con diversos tipos de discapacidades. Esta expansión permitirá validación estadística robusta de los hallazgos preliminares y refinamiento de los algoritmos de personalización basado en patrones de uso a mayor escala.

**Desarrollo de Capacidades Multimodales:** La integración de elementos multimedia adaptativos representa una oportunidad significativa para enriquecer la experiencia educativa. Futuras iteraciones del sistema deberían incorporar generación automática de descripciones de imágenes, adaptación de videos con subtítulos y audio descriptivo, y elementos interactivos que respondan a diferentes modalidades sensoriales.

## GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

<i><b>Acrónimo</b></i>	<i><b>Significado</b></i>	<i><b>Definición</b></i>
<b>API</b>	Application Programming Interface	Interfaz de programación de aplicaciones que permite la comunicación entre diferentes componentes de software
<b>CAED</b>	Centro de Atención para Estudiantes con Discapacidad	Centro especializado dentro del CBTis 168 en Aguascalientes, México, que brinda servicios educativos a estudiantes con diversas discapacidades
<b>CBTis</b>	Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios	Institución educativa de nivel medio superior en México
<b>CV</b>	Coefficient of Variation	Coeficiente de variación, medida estadística de dispersión relativa
<b>DUA</b>	Diseño Universal para el Aprendizaje	Marco educativo que proporciona múltiples medios de representación, acción, expresión y compromiso
<b>E2R</b>	Easy-to-Read (Lectura Fácil)	Método de redacción que hace la información más fácil de leer y entender
<b>GenAI</b>	Generative Artificial Intelligence	Inteligencia Artificial Generativa, tecnología que puede crear contenido nuevo basado en patrones aprendidos
<b>IA</b>	Inteligencia Artificial	Tecnología que permite a las máquinas simular procesos de inteligencia humana
<b>IFLA</b>	International Federation of Library Associations	Federación Internacional de Asociaciones de Bibliotecarios y Bibliotecas
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía	Organismo público descentralizado de México responsable de generar información estadística
<b>LF</b>	Lectura Fácil	Método de adaptación de textos para hacerlos más accesibles cognitivamente
<b>LLM</b>	Large Language Model	Modelo de Lenguaje Grande, tipo de inteligencia artificial entrenada en grandes cantidades de texto
<b>LMS</b>	Learning Management System	Sistema de gestión de aprendizaje, plataforma digital para administrar contenidos educativos
<b>ML</b>	Machine Learning	Aprendizaje automático, subcampo de la IA que permite a las máquinas aprender sin programación explícita
<b>NLP</b>	Natural Language Processing	Procesamiento de Lenguaje Natural, campo de la IA que se ocupa de la interacción entre computadoras y lenguaje humano
<b>OCR</b>	Optical Character Recognition	Reconocimiento Óptico de Caracteres, tecnología que convierte imágenes de texto en texto editable

<b>RAG</b>	Retrieval Augmented Generation	Generación Aumentada por Recuperación, técnica que mejora las respuestas de IA consultando bases de datos externas
<b>RGPD</b>	Reglamento General de Protección de Datos	Normativa europea sobre protección de datos personales
<b>SEP</b>	Secretaría de Educación Pública	Dependencia del gobierno federal mexicano encargada de la educación
<b>SUS</b>	System Usability Scale	Escala de Usabilidad del Sistema, cuestionario estándar para evaluar la usabilidad
<b>TTS</b>	Text-to-Speech	Tecnología de síntesis de voz que convierte texto escrito en audio hablado
<b>UDL</b>	Universal Design for Learning	Diseño Universal para el Aprendizaje, marco que hace el aprendizaje accesible para todos
<b>UI</b>	User Interface	Interfaz de Usuario, medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina
<b>UNE</b>	Una Norma Española	Conjunto de normas técnicas españolas desarrolladas por la Asociación Española de Normalización
<b>UNESCO</b>	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
<b>WCAG</b>	Web Content Accessibility Guidelines	Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web

**Tabla 7.** *Glosario de Acrónimos*

## BIBLIOGRAFIA

- Al-Hmouz, A., Shen, J., Yan, J., & Al-Hmouz, R. (2010). Enhanced learner model for adaptive mobile learning. *Proceedings of the 12th International Conference on Information Integration and Web-Based Applications & Services*, 783–786.  
<https://doi.org/10.1145/1967486.1967647>
- Baker, R. S. (2016). Stupid Tutoring Systems, Intelligent Humans. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 600–614. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0105-0>
- Bernhardt, E. B. (1991). *Reading development in a second language*. Ablex.
- Blackhurst, A. E. (2005). Perspectives on Applications of Technology in the Field of Learning Disabilities. *Learning Disability Quarterly*, 28(2), 175–178.  
<https://doi.org/10.2307/1593622>
- Brusilovsky, P., & Millán, E. (2007). User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems. En P. Brusilovsky, A. Kobsa, & W. Nejdl (Eds.), *The Adaptive Web* (Vol. 4321, pp. 3–53). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_1)
- Burgstahler, S. (2011). Universal Design: Implications for Computing Education. *ACM Transactions on Computing Education*, 11(3), 1–17.  
<https://doi.org/10.1145/2037276.2037283>
- Calderón, L. T. (2024). *Narrativa Visual como estrategia para la Comprensión Lectora* [Master's Thesis, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].  
[https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/13993/Tenorio%20\\_CL.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/13993/Tenorio%20_CL.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

- Canet-Juric, L., Urquijo, S., Richard's, M. M., & Burin, D. (2009). Predictores cognitivos de niveles de comprensión lectora mediante análisis discriminante. *International Journal of Psychological Research*, 2(2), 99–111.
- Collins, A. A., & Lindström, E. R. (2021). Making sense of reading comprehension assessments: Guidance for evaluating student performance. *Intervention in School and Clinic*, 57(1), 23–31. <https://doi.org/10.1177/1053451221994806>
- Conati, C., Porayska-Pomsta, K., & Mavrikis, M. (2018). *AI in Education needs interpretable machine learning: Lessons from Open Learner Modelling*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.1807.00154>
- Contreras, M. R., & Sage, D. S. (2022). *Apoyo visual, simplificación léxica y comprensión lectora* [PhD Thesis, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstreams/5fefa85a-3b26-411f-a909-64d130984329/download>
- Cooper, J. D. (1998). *Literacy: Helping children construct meaning*. Houghton Mifflin. <https://archive.org/details/literacyhelpingc0000coop>
- Dhakal, A., & Bobrin, B. D. (2025). Cognitive Deficits. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559052/>
- Dillenbourg, P. (2016). The Evolution of Research on Digital Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 544–560. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0106-z>
- Durán, D. N. (2019). Estrategias pedagógicas para el desarrollo de la lectura inferencial. *Educación y Ciencia*, 23, 367–382.

EDUCACIÓN, U. S. DE. (2022). *Hacia la inclusión en la educación: Situación, tendencias y desafíos. 25 años después de la Declaración de Salamanca de la UNESCO*. UNESCO.  
<http://riberdis.cedid.es/handle/11181/6553>

EDYBURN. (2010). Would You Recognize Universal Design for Learning if You Saw it? Ten Propositions for New Directions for the Second Decade of UDL. *Learning Disability Quarterly*, 33(1), 33–41. <https://doi.org/10.1177/073194871003300103>

ESTÉVEZ ARIAS, SÁNCHEZ VALDÉS, & TORRES HERNÁNDEZ. (2022). Training teachers: Challenges in front of curriculum adaptation and inclusive education. *Mendive*, 20(3), 1051–1069.

FERGUSON, R. (2012). Learning analytics: Drivers, developments and challenges. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5/6), 304.  
<https://doi.org/10.1504/IJTEL.2012.051816>

GAONA, Z. R. (2013). *La comprensión lectora como herramienta básica en la enseñanza de las ciencias naturales* [Master's Thesis, Universidad de Medellín].  
[https://www.academia.edu/download/38347392/TESIS\\_COMPRENSION\\_LECTORA\\_ORALIS.pdf](https://www.academia.edu/download/38347392/TESIS_COMPRENSION_LECTORA_ORALIS.pdf)

GORDON, D. T. (Ed.). (2024). *Universal design for learning: Principles, framework, and practice* (Updated edition of Anne Meyer and David H. Rose's foundational text.). CAST Professional Publishing.

HOLMES, W., BIALIK, M., & FADEL, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. The Center for Curriculum Redesign.

HOLMES, W., PORAYSKA-POMSTA, K., HOLSTEIN, K., SUTHERLAND, E., BAKER, T., SHUM, S. B., SANTOS, O. C., RODRIGO, M. T., CUKUROVA, M., BITTENCOURT, I. I., & KOEDINGER, K. R. (2022). Ethics of AI in Education: Towards a Community-Wide Framework. *International Journal of*

*Artificial Intelligence in Education*, 32(3), 504–526. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00239-1>

Holstein, K., McLaren, B. M., & Alevan, V. (2019). Co-Designing a Real-Time Classroom Orchestration Tool to Support Teacher–AI Complementarity. *Journal of Learning Analytics*, 6(2). <https://doi.org/10.18608/jla.2019.62.3>

Hurtado, C. J., & Carlucci, L. (Eds.). (2023). *Lectura Fácil: Procesos y entornos de una nueva modalidad de traducción*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Servicio de Publicaciones y Difusión Científica.

<https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/134597/1/9788490425459.pdf>

Hurtado, C. J., & Reguera, A. M. (2022). Metodología de la traducción a Lectura Fácil: Retos de investigación. En *Accesibilidad y traducción: Retos de investigación* (p. 206+). OAPEN Library.

<https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/54058/9783732990641.pdf#page=206>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). *Estadísticas a propósito del Día Internacional de las Personas con Discapacidad (3 de diciembre)* (No. 684/24). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP\\_PCD24.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP_PCD24.pdf)

Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, 1(9), 389–399. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>

Johnston, P. (1983). *Reading Comprehension Assessment: A Cognitive Basis*. International Reading Association.

Kasneji, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneji, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, 102274.

<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>

Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems: A Meta-Analytic Review. *Review of Educational Research, 86*(1), 42–78.

<https://doi.org/10.3102/0034654315581420>

*LangChain*. (2022, octubre). <https://github.com/langchain-ai/langchain>

Martínez, J. D. G. (2015). *La comprensión lectora en estudiantes de secundaria: La metodología audiovisual frente a la textual* [PhD Thesis]. Universidad de Murcia.

Mcguire, J. M., Scott, S. S., & Shaw, S. F. (2006). Universal Design and Its Applications in Educational Environments. *Remedial and Special Education, 27*(3), 166–175.

<https://doi.org/10.1177/07419325060270030501>

Mermelstein, A. D. (2023). Three Dynamic Methods of Assessing the Reading Comprehension of ESL/EFL Learners. *ORTESOL Journal, 40*, 36.

Meyers, S. (1991). Performance in reading comprehension—Product or process? *Educational Review, 43*(3), 257–272.

Mousavinasab, E., Zarifsanaiey, N., R. Niakan Kalhori, S., Rakhshan, M., Keikha, L., & Ghazi Saeedi, M. (2021). Intelligent tutoring systems: A systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods. *Interactive Learning Environments, 29*(1), 142–163. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1558257>

- Nunan, D. (1991). *Language teaching methodology: A textbook for teachers*. Prentice Hall.
- Nye, B. D., Pavlik, P. I., Windsor, A., Olney, A. M., Hajeer, M., & Hu, X. (2018). SKOPE-IT (Shareable Knowledge Objects as Portable Intelligent Tutors): Overlaying natural language tutoring on an adaptive learning system for mathematics. *International Journal of STEM Education*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0109-4>
- Perkins, K., & Perish, C. (1988). *What's wrong with reading comprehension tests?*
- Plain Language Action and Information Network. (2011, marzo 1). Federal plain language guidelines. En *Plain Language Association International (PLAIN)*.  
<https://plainlanguagenetwork.org/>
- Pressley, M. (2000). What should comprehension instruction be the instruction of? En M. Kamil, P. Mosenthal, P. D. Pearson, & R. Barr (Eds.), *Handbook of Reading Research* (Vol. 3, pp. 545–561). Lawrence Erlbaum.  
[https://www.academia.edu/37378134/Handbook\\_of\\_Research\\_on\\_Reading\\_Comprehension\\_Duffy\\_and\\_Israel\\_Taylor\\_Francis\\_2014\\_pdf](https://www.academia.edu/37378134/Handbook_of_Research_on_Reading_Comprehension_Duffy_and_Israel_Taylor_Francis_2014_pdf)
- Reguera, A. M., & Prieto-Velasco, J. A. (2023). Apoyos visuales para la traducción accesible: De la especialidad a la Lectura Fácil. En C. J. Hurtado & L. Carlucci (Eds.), *Lectura Fácil: Procesos y entornos de una nueva modalidad de traducción* (p. 50+). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.  
<https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/134597/1/9788490425459.pdf#page=50>
- Rose, D., Hasselbring, T., Stahl, S., & Zabala, J. (2005). *Assistive Technology and Universal Design for Learning: Two Sides of the Same Coin Two Roles for Technology: Assistive Technology and Universal Design for Learning*.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Rose, & Meyer. (2006). *A practical reader in universal design for learning*. Harvard Education Press.

Seda, I. (1989). *Assessment format and comprehension performance*.

Sternberg. (1991). Are we reading too much into reading comprehension tests? *Journal of Reading*, 34(7), 540–545.

Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)

Torra, Y. A. S. (2024). *La Lectura Fácil y su importancia para el aprendizaje del español como lengua extranjera* [Undergraduate thesis, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]. <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/131131/1/lectura-facil-importancia-.pdf>

UNICEF. (2021). *Seen, Counted, Included: Using data to shed light on the well-being of children with disabilities. Executive Summary*. United Nations Children’s Fund (UNICEF). [https://inee.org/sites/default/files/resources/Disability-report-executive-summary\\_ES.pdf](https://inee.org/sites/default/files/resources/Disability-report-executive-summary_ES.pdf)

Vandewaetere, M., Desmet, P., & Clarebout, G. (2011). The contribution of learner characteristics in the development of computer-based adaptive learning environments. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.07.002>

Verbert, K., Manouselis, N., Ochoa, X., Wolpers, M., Drachsler, H., Bosnic, I., & Duval, E. (2012). Context-Aware Recommender Systems for Learning: A Survey and Future Challenges. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5(4), 318–335. <https://doi.org/10.1109/TLT.2012.11>

*Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1.* (2018, junio 5).

<https://www.w3.org/TR/WCAG21/>

Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Ichter, B., Xia, F., Chi, E., Le, Q., & Zhou, D.

(2023, enero). *Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language*

*Models.* arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.11903>

Wilcox, E., Qian, P., Futrell, R., Kohita, R., Levy, R., & Ballesteros, M. (2020). Structural

Supervision Improves Few-Shot Learning and Syntactic Generalization in Neural

Language Models. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural*

*Language Processing (EMNLP)*, 4640–4652. [https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-](https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-main.375)

[main.375](https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-main.375)

Yao, S., Zhao, J., Yu, D., Du, N., Shafran, I., Narasimhan, K., & Cao, Y. (2023, marzo). *ReAct:*

*Synergizing Reasoning and Acting in Language Models.* arXiv.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.03629>

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of

research on artificial intelligence applications in higher education – where are the

educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1),

39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

## APPENDIX A. ENCUESTA



### Introducción

Este cuestionario forma parte de un estudio de investigación desarrollado por Daniel Mares Esparza, Jaime Muñoz Arteaga, Ezra Federico Parra González, Julio Cesar Ponce Gallegos en colaboración con la Universidad Autónoma de Aguascalientes, con el objetivo de evaluar la comprensibilidad, diseño y facilidad de uso de una aplicación destinada a estudiantes del Centro de Atención para Estudiantes con Discapacidad (CAED).

El propósito de este estudio es analizar cómo los elementos de accesibilidad, el lenguaje utilizado y la organización del contenido influyen en la experiencia de los usuarios al interactuar con la aplicación. Buscamos identificar fortalezas y áreas de mejora que permitan optimizar la herramienta para brindar una experiencia más inclusiva y efectiva.

Los datos recopilados en este cuestionario serán tratados con absoluta confidencialidad y utilizados únicamente con fines académicos y de investigación. No se divulgará información personal de los participantes, y todas las respuestas serán analizadas de manera anónima. La participación en esta evaluación es completamente voluntaria y no conlleva ningún riesgo para los encuestados.

Agradecemos sinceramente su tiempo y disposición para completar este cuestionario. Sus respuestas serán clave para mejorar la accesibilidad y funcionalidad de la aplicación, beneficiando a futuros usuarios. Si tiene alguna duda o requiere mayor información sobre el estudio, puede contactar a los investigadores responsables a través de [danielmares32@gmail.com](mailto:danielmares32@gmail.com).

### Sección 1: Comprensibilidad del contenido

Evalúa la claridad del lenguaje y la facilidad de comprensión del texto.

**1. El texto es claro y fácil de entender.**

Totalmente en desacuerdo

En desacuerdo

Neutral

De acuerdo

Totalmente de acuerdo



2. Las frases son cortas y directas.

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

3. Las palabras difíciles se explican con ejemplos o en un glosario.

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

## Sección 2: Diseño y presentación

Evalúa la accesibilidad visual y la usabilidad del contenido.

4. El tamaño de letra es adecuado y fácil de leer. (Se revisa si el texto usa una tipografía de al menos 12-16 puntos.)

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo



5. Los colores y el contraste ayudan a leer mejor.

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

6. Las imágenes ayudan a comprender la información.

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

**Sección 3: Facilidad de uso**

Evalúa la navegación y accesibilidad de la aplicación.

7. Los botones y menús son fáciles de encontrar y entender.

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo



8. La aplicación tiene ayuda o asistencia si no entiendo algo.

Totalmente en desacuerdo

En desacuerdo

Neutral

De acuerdo

Totalmente de acuerdo

9. Recomendarías esta aplicación a otros compañeros del CAED.

Totalmente en desacuerdo

En desacuerdo

Neutral

De acuerdo

Totalmente de acuerdo

## APPENDIX B. REUNIONES DE TRABAJO



### APPENDIX C. DIPLOMAS EVENTOS

**CIMAT** **CISETC 2023**

El Centro de Investigación en Matemáticas A. C. otorga la presente

## CONSTANCIA

a

Rafael Rojano Cazares y Daniel Mares Esparza

Por impartir el taller

Desarrollo de aplicaciones móviles como apoyo al STEAM

en el

Congreso Internacional sobre **Educación y Tecnología en Ciencias 2023**

Llevado a cabo del 4 al 6 de diciembre de 2023

*Hector CR*  
Dr. Héctor Cardona Reyes  
Coordinador general, CISETC 2023

*Carlos A. Lara Álvarez*  
Dr. Carlos A. Lara Álvarez  
Director, CIMAT Zacatecas



La Benemérita Universidad Autónoma de Aguascalientes a través del Centro de Ciencias Básicas, otorgan el presente:

## RECONOCIMIENTO

al Ing. Daniel Mares Esparza

Por su apoyo tecnológico para la organización en el área de la Licenciatura en Informática y Tecnología Computacional en el marco del

### XVII CONGRESO DE CIENCIAS EXACTAS

Realizado del 13 al 15 de septiembre del 2023

**SE LUMEN PROFERRE**

*Jorge Martín Alfárez Chávez*  
Mtro. en C. Jorge Martín Alfárez Chávez  
Decano del Centro de Ciencias Básicas

*Luis Alejandro Flores Oropeza*  
Dr. Luis Alejandro Flores Oropeza  
Coordinador General del Congreso

*Eduardo Serna P.*  
Mtro. en Int. Art. Eduardo Serna Pérez  
Jefe del Depto. Coordinador del Congreso

## APPENDIX D. DIPLOMAS PUBLICACIONES



La Comunidad Internacional para el Avance de la Tecnología en el Aprendizaje - CIATA.org, y la Universidad Autónoma de Yucatán han organizado la XV edición de la Conferencia Internacional sobre Tecnologías para el Aprendizaje a celebrarse en Mérida, México del 10 al 12 de julio de 2024

La presente Constancia se expide a

**Daniel Mares Esparza**

por su asistencia y participación en el evento presencial celebrado los días 10 al 12 de julio de 2024 en la Universidad Autónoma de Yucatán, en Mérida, Yucatán, México

En Mérida, a 10 de julio de 2024

Dr. Manuel E. Prieto Méndez  
Presidente de CIATA.org

Dr. Pedro J. Canto Herrera  
Director de la Facultad de Educación UADY





La Comunidad Internacional para el Avance de la Tecnología en el Aprendizaje - CIATA.org, y la Universidad Autónoma de Yucatán han organizado la XV edición de la Conferencia Internacional sobre Tecnologías para el Aprendizaje a celebrarse en Mérida, México del 10 al 12 de julio de 2024

La presente Constancia se expide a

**Daniel Mares Esparza, Jaime Muñoz Arteaga, Ezra F. Parra González**

en reconocimiento por el trabajo presentado en la mencionada conferencia, en la modalidad presencial, con la Ponencia Titulada:

**Arquitectura de Prompts para la generación de contenidos de Física**

Permitame agradecer a Ud. y su Institución, por haber confiado en CIATA.org y la Universidad Autónoma de Yucatán brindando su tiempo y experiencia para el éxito de estas convocatorias.

En Mérida, a 11 de julio de 2024

Dr. Manuel E. Prieto Méndez  
Presidente de CIATA.org

Dr. Pedro J. Canto Herrera  
Director de la Facultad de Educación UADY





SOMOS  
ANTE OCHO Y  
DESARROLLO  
CULTURAL



Zacatecas  
GOBIERNO DEL ESTADO  
2025-2027



El Comité organizador de las 11 Jornadas Iberoamericanas de Interacción Humano - Computadora 2025

# CERTIFICA

que el trabajo:

## An Architectural Model for Adapting Easy-to-Read Content in Inclusive Education

de los autores:

**Daniel Mares-Esparza, Jaime Muñoz-Arteaga,  
Ezra Federico Parra-González, Julio Cesar Ponce Gallegos**

se presentó en el marco de 11JIHC'25, contribuyendo al intercambio de conocimientos y al fortalecimiento de la comunidad científica en el área de Interacción Humano-Computadora, del 05 al 09 de Mayo de 2025, en la Universidad Autónoma de Zacatecas, México.

Zacatecas, Zac., México a 19 de Mayo de 2025



**DR. HUIZILOPOZTLI LUNA GARCÍA**  
Presidente de la red HCI-COLLAB  
y Coordinador General de las  
11JIHC'25

**DR. CESAR A. COLLAZOS ORDÓÑEZ**  
Coordinador red HCI-COLLAB



# APPENDIX E. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

Capítulo 2

## Modelo Arquitectural para la generación de contenidos de Física utilizando Prompts en Apoyo para una Educación Inclusiva a Nivel Bachillerato

Daniel Mares-Esparza<sup>1</sup>, Jaime Muñoz-Arteaga<sup>1</sup>, Ezra Federico Parra-González<sup>2</sup>,  
Humberto Muñoz-Bautista<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad #940 Ciudad Universitaria CP.  
20100, Aguascalientes, México

{al210348, jaime.munoz}@edu.uaa.mx, hmuntista@gmail.com

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Matemáticas A. C. Unidad Zacatecas. Parque Quantum, CP  
98160. Zacatecas, Zacatecas, México  
ezra.parra@cimat.mx

**Resumen.** El presente trabajo aborda la propuesta de un modelo arquitectural que hace uso de la ingeniería de prompts como una estrategia innovadora en la generación de contenidos de física para estudiantes de bachillerato, con un enfoque particular en aquellos con discapacidades cognitivas. Se propone un enfoque centrado en la personalización del aprendizaje, la asistencia en tareas específicas, la retroalimentación positiva, la adaptación dinámica del contenido y un diseño inclusivo, con el objetivo de crear un entorno educativo más accesible y efectivo. La metodología busca mejorar la adaptabilidad del contenido educativo a las necesidades individuales de cada estudiante, promoviendo su participación y su éxito académico. Se hace hincapié en la importancia de la evaluación continua y la retroalimentación del usuario para garantizar la eficacia y la mejora constante de esta aproximación. Este estudio contribuye al campo de la educación inclusiva al ofrecer un enfoque innovador y basado en la evidencia para el diseño y la implementación de herramientas educativas accesibles y centradas en el estudiante.

**Palabras clave:** Ingeniería de Prompts, Modelo Arquitectural, Estudiantes con Discapacidades Cognitivas, Personalización del Aprendizaje, Educación Inclusiva.

# An Architectural Model for Adapting Easy-to-Read Content in Inclusive Education

Daniel Mares-Esparza<sup>1</sup>, Jaime Muñoz-Arteaga<sup>1</sup>, Ezra Federico Parra-González<sup>2</sup>, Julio Cesar Ponce Gallegos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad #940 Ciudad Universitaria CP. 20100, Aguascalientes, México

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Matemáticas A. C. Unidad Zacatecas. Parque Quantum, CP 98160. Zacatecas, Zacatecas, México

danielmares32@gmail.com, jaime.munoz@edu.uaa.mx,  
ezra.parra@cimat.mx, julio.ponce@edu.uaa.mx

**Abstract.** This paper examines the critical need to enhance accessibility in written content, with a particular focus on the challenges and solutions involved in adapting literary texts to easy-to-read (E2R) guidelines. Despite the increasing demand for clear and concise language, the manual adaptation process remains labor-intensive and subjective. To address this issue, we introduce a three-tier architectural model as a potential approach to providing personalized learning experiences tailored to individual needs, with the goal of enhancing accessibility in educational material adaptation. The model integrates Large Language Models (LLMs), cognitive services, and vector databases to automate content adaptation. We examined its preliminary applicability through a small-scale exploratory case study with three students with different accessibility needs in an inclusive education program, focusing primarily on one student with visual impairment.

**Keywords:** Inclusive Education, Architectural Model, Interactive Content, Large Language Models.

# TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

## APPENDIX F. CARTA DE CONSENTIMIENTO PADRES DE FAMILIA

### CARTA DE CONSENTIMIENTO

Aguascalientes, Ags. 23 de enero de 2025

Estimados Padres de Familia:

Nos dirigimos a ustedes de la manera más amable y atenta posible para informarles y solicitar su consentimiento para que sus hijos participen en una serie de pruebas relacionadas al proyecto “Estrategias de Aprendizaje con Apoyo Tecnológico para la Educación Inclusiva” organizado por dos estudiantes de posgrado pertenecientes a la Universidad Autónoma de Aguascalientes, sus servidores: **Alejandro Moreno Cruz** y **Daniel Mares Esparza**, dicho proyecto va enfocado hacia el apoyo a la educación inclusiva por medio de tecnologías emergentes, los avances desarrollados se aplicarán en colaboración con el Centro de Atención a Estudiantes con Discapacidad (CAED) del CBTis 168, el comité tutorial de los estudiantes mencionados está conformado por: **Dr. Jaime Muñoz Arteaga** y **Dr. Julio César Ponce Gallegos**. Este proyecto tiene como objetivo mejorar la experiencia educativa de todos los estudiantes, especialmente aquellos con necesidades educativas especiales.

A continuación, les proporcionamos detalles importantes sobre la participación en este proyecto:

#### **Naturaleza de las Pruebas:**

Las pruebas se centrarán en evaluar la efectividad de los prototipos, uno de ellos sobre la implementación de juegos serios con temáticas del marco curricular de los estudiantes en la modalidad de prepa abierta y el otro proyecto constará de adaptación de los contenidos educativos a las necesidades individuales de los estudiantes, proporcionando herramientas accesibles e inclusivas que faciliten el aprendizaje y la comprensión mediante inteligencia artificial generativa (GenAI).

Los estudiantes serán encuestados para recopilar así una retroalimentación precisa, con el fin de mejorar y ajustar los prototipos según sea necesario.

#### **Seguridad y Bienestar:**

Garantizamos que estas pruebas no serán dañinas en ningún momento. La seguridad y el bienestar de los alumnos son nuestra mayor prioridad.

No se entorpecerán sus estudios regulares. Las pruebas se programarán en horarios que no interfieran con sus actividades académicas regulares.

#### **Participación Voluntaria:**

La participación en este proyecto es completamente voluntaria. Los estudiantes tienen el derecho de negarse a participar en cualquier momento sin repercusión.

No será necesario invertir ningún recurso económico por parte de los estudiantes o sus familias.

#### **Supervisión y Apoyo:**

Siempre habrá supervisión de alguno de los investigadores principales del proyecto, así como de alguna de las asesoras del CAED: **Beatriz Alejandra González Medina** (Enlace educativo y asesora del CAED), **Iliana Margarita Monjo Hernández** (Asesora del área de

matemáticas) y **Evelia Quirarte Benitez** (Asesora del área de Ciencias Sociales y Humanidades), durante todas las pruebas.

Se proporcionará orientación y apoyo continuo a los estudiantes participantes.

Les pedimos amablemente que completen y firmen el formulario de consentimiento adjunto si están de acuerdo con la participación de su hijo(a) en este proyecto, así como su consentimiento para tomar fotografías con fines educativos. Agradecemos su colaboración y apoyo en esta importante iniciativa para mejorar la educación inclusiva en nuestra institución.

Si tienen alguna duda o necesitan información adicional, no duden en comunicarse con nosotros por los siguientes medios:

[Daniel Mares Esparza]

[danielmares32@gmail.com]

[4492339120]

[Alejandro Moreno Cruz]

[alejandro\_moreno\_cruz@outlook.com]

[4741049439]

Agradecemos su atención y esperamos poder contar con su valiosa colaboración.

Atentamente

Alejandro Moreno Cruz  
Universidad Autónoma de Aguascalientes  
Estudiante del DCAT

Daniel Mares Esparza  
Universidad Autónoma de Aguascalientes  
Estudiante de la MCCMA

Formulario de Consentimiento

Yo, [ \_\_\_\_\_ ], como [ \_\_\_\_\_ ] de [ \_\_\_\_\_ ], autorizo la participación de mi [ \_\_\_\_\_ ] en las pruebas de los prototipos de aplicaciones educativas e inclusivas llevadas a cabo en el CAED del CBTis 168, bajo las condiciones anteriormente descritas.

Firma del Padre/Madre/Tutor: \_\_\_\_\_

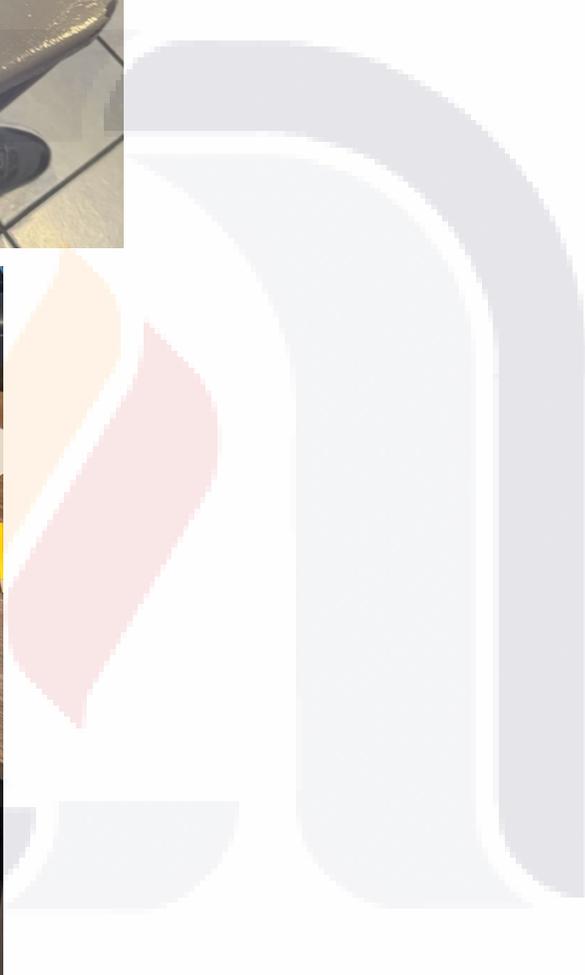
Fecha: \_\_\_\_\_

**APPENDIX G. EVIDENCIAS FOTOGRAFICAS ESTUDIANTES**

**CAED**



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

# APPENDIX H. EVIDENCIAS ANÁLISIS DE RESULTADOS

## ESTUDIANTES CAED

```
# Análisis de Encuesta de Accesibilidad en R
# Script para análisis de datos de encuesta CAED

# 0. Instalación de paquetes necesarios ----
# Descomentar y ejecutar estas líneas si necesitas instalar los paquetes
install.packages("tidyverse") # Manipulación de datos y visualización
install.packages("psych") # Análisis estadístico psicométrico
install.packages("corrplot") # Visualización de correlaciones
install.packages("reshape2") # Transformación de datos
install.packages("factoextra") # Visualización de clusters
install.packages("scales") # Escalas para gráficos
install.packages("pheatmap") # Mapas de calor

# 1. Configuración inicial ----
# Cargar paquetes necesarios
library(tidyverse) # Manipulación de datos y visualización
library(psych) # Análisis estadístico psicométrico
library(corrplot) # Visualización de correlaciones
library(ggplot2) # Visualizaciones avanzadas
library(reshape2) # Transformación de datos
library(factoextra) # Visualización de clusters
library(scales) # Escalas para gráficos

# 2. Carga y Preparación de Datos ----
# Crear los datos de la encuesta
datos_encuesta <- data.frame(
  Participante = c("P1", "P2", "P3", "P4", "P5", "P6", "P7", "P8", "P9"),
  Q1 = c(3, 4, 5, 2, 5, 3, 1, 5, 4), # Claridad texto
  Q2 = c(3, 4, 3, 4, 5, 3, 4, 5, 4), # Frases cortas
  Q3 = c(3, 3, 4, 1, 4, 4, 5, 4, 3), # Palabras difíciles
  Q4 = c(3, 4, 3, 5, 5, 2, 3, 4, 4), # Tamaño letra
  Q5 = c(5, 4, 5, 2, 5, 1, 2, 3, 5), # Colores contraste
  Q6 = c(3, 4, 5, 3, 5, 2, 2, 5, 4), # Imágenes
  Q7 = c(3, 4, 3, 4, 5, 4, 5, 5, 5), # Botones menú
  Q8 = c(2, 4, 2, 4, 3, 1, 5, 4, 4), # Ayuda asistencia
  Q9 = c(5, 5, 4, 2, 5, 1, 5, 5, 3) # Recomendación
)

# Codificación de texto a etiquetas de respuestas
etiquetas_respuestas <- c(
  "1" = "Totalmente en Desacuerdo",
  "2" = "En Desacuerdo",
  "3" = "Neutral",
  "4" = "De Acuerdo",
  "5" = "Totalmente De Acuerdo"
)

# Etiquetas de preguntas para la visualización
etiquetas_preguntas <- c(
  "Q1" = "Claridad del texto",
  "Q2" = "Frases cortas y directas",
  "Q3" = "Explicación de palabras difíciles",
  "Q4" = "Tamaño de letra adecuado",
  "Q5" = "Colores y contraste",
```

```

"Q6" = "Imágenes de apoyo",
"Q7" = "Navegabilidad de botones y menús",
"Q8" = "Sistema de ayuda y asistencia",
"Q9" = "Recomendación a otros"
)

# 3. Análisis Descriptivo Básico ----
estadisticas_descriptivas <- datos_encuesta %>%
  select(-Participante) %>%
  describe() %>%
  as.data.frame() %>% # <-- Forzar la conversión a data frame
  select(mean, sd, median, min, max) %>%
  mutate(
    cv = sd / mean * 100,
    pregunta = rownames(.)
  )

# Primero redondear solo las columnas numéricas
estadisticas_numericas <- estadisticas_descriptivas %>%
  mutate(across(c(mean, sd, median, min, max, cv), ~ round(., 2)))

# Luego agregar las columnas de texto
estadisticas_formateadas <- estadisticas_numericas %>%
  mutate(
    interpretacion = case_when(
      mean >= 4.5 ~ "Excelente",
      mean >= 4.0 ~ "Muy positivo",
      mean >= 3.5 ~ "Positivo",
      mean >= 3.0 ~ "Moderadamente positivo",
      mean >= 2.5 ~ "Neutral",
      TRUE ~ "Necesita mejora"
    ),
    variabilidad = case_when(
      cv < 20 ~ "Baja (respuestas consistentes)",
      cv < 30 ~ "Moderada",
      cv < 40 ~ "Alta",
      TRUE ~ "Muy alta (respuestas inconsistentes)"
    )
  )

# Imprimir estadísticas descriptivas
print("Estadísticas descriptivas por pregunta:")
print(estadisticas_formateadas)

# 4. Distribución de Respuestas ----
# Contar frecuencias de respuestas
tabla_frecuencias <- datos_encuesta %>%
  select(-Participante) %>%
  pivot_longer(cols = everything(), names_to = "Pregunta", values_to = "Respuesta")
%>%
  count(Respuesta) %>%
  mutate(
    Porcentaje = n / sum(n) * 100,
    Respuesta_etiqueta = etiquetas_respuestas[as.character(Respuesta)]
  )

print("Distribución global de respuestas:")
print(tabla_frecuencias)

# Visualizar distribución de respuestas

```

```
ggplot(tabla_frecuencias, aes(x = factor(Respuesta), y = Porcentaje, fill =
factor(Respuesta))) +
  geom_bar(stat = "identity") +
  geom_text(aes(label = paste0(round(Porcentaje, 1), "%")), vjust = -0.5) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYlGn", name = "Valoración", labels =
etiquetas_respuestas) +
  labs(
    title = "Distribución global de respuestas",
    x = "Valoración",
    y = "Porcentaje (%)"
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(legend.position = "bottom")
```

# 5. Análisis por Dimensiones ----

# Crear dimensiones agrupadas

```
datos_dimensiones <- datos_encuesta %>%
  mutate(
    Legibilidad = (Q1 + Q2 + Q3) / 3,
    Visual = (Q4 + Q5 + Q6) / 3,
    Navegabilidad = Q7,
    Soporte = Q8,
    Satisfaccion = Q9,
    Promedio_Global = rowMeans(select(., Q1:Q9))
  )
```

# Estadísticas por dimensión

```
estadisticas_dimensiones <- datos_dimensiones %>%
  select(Legibilidad, Visual, Navegabilidad, Soporte, Satisfaccion) %>%
  describe() %>%
  as.data.frame() %>% # <- Forzar que sea data frame
  select(mean, sd) %>%
  mutate(
    cv = sd / mean * 100,
    dimension = rownames(.)
  )
```

```
print("Estadísticas por dimensión:")
print(estadisticas_dimensiones)
```

# 6. Análisis de Correlaciones ----

# Matriz de correlación

```
matriz_correlacion <- datos_encuesta %>%
  select(-Participante) %>%
  cor(method = "pearson")
```

# Correlación entre dimensiones

```
matriz_correlacion_dimensiones <- datos_dimensiones %>%
  select(Legibilidad, Visual, Navegabilidad, Soporte, Satisfaccion) %>%
  cor(method = "pearson")
```

```
print("Correlaciones entre dimensiones:")
print(round(matriz_correlacion_dimensiones, 2))
```

# Visualizar correlaciones

```
corrplot(matriz_correlacion_dimensiones,
  method = "color",
  type = "upper",
  tl.col = "black",
  addCoef.col = "black",
  col = colorRampPalette(c("#D55E00", "white", "#009E73"))(200),
```

```

title = "Correlaciones entre Dimensiones",
mar = c(0, 0, 1, 0))

# 7. Segmentación de Usuarios ----
# Análisis de clústeres
datos_clustering <- datos_dimensiones %>%
  select(Legibilidad, Visual, Navegabilidad, Soporte, Satisfaccion)

# Determinar número óptimo de clústeres
fviz_nbclust(datos_clustering, kmeans, method = "silhouette") +
  labs(title = "Número óptimo de clústeres")

# Aplicar k-means con 3 clústeres
set.seed(123) # Para reproducibilidad
kmeans_result <- kmeans(scale(datos_clustering), centers = 3, nstart = 25)

# Añadir clústeres a los datos
datos_dimensiones$Cluster <- as.factor(kmeans_result$cluster)

# Características de los clústeres
perfil_clusters <- datos_dimensiones %>%
  group_by(Cluster) %>%
  summarise(
    N = n(),
    Legibilidad = mean(Legibilidad),
    Visual = mean(Visual),
    Navegabilidad = mean(Navegabilidad),
    Soporte = mean(Soporte),
    Satisfaccion = mean(Satisfaccion),
    Promedio_Global = mean(Promedio_Global)
  ) %>%
  mutate(Porcentaje = N / sum(N) * 100)

print("Perfiles de usuario identificados:")
print(perfil_clusters)

# Visualizar clústeres
fviz_cluster(kmeans_result, data = datos_clustering,
  palette = c("#FC4E07", "#00AFBB", "#E7B800"),
  ellipse.type = "euclid",
  star.plot = TRUE,
  repel = TRUE,
  ggtheme = theme_minimal(),
  main = "Segmentación de Usuarios")

# 8. Mapa de Calor de Evaluación ----
# Preparar datos para mapa de calor
datos_mapa <- datos_encuesta %>%
  select(-Participante) %>%
  as.matrix()
rownames(datos_mapa) <- datos_encuesta$Participante

# Crear mapa de calor
pheatmap::pheatmap(
  datos_mapa,
  cluster_rows = TRUE,
  cluster_cols = TRUE,
  display_numbers = TRUE,
  main = "Mapa de Calor de Evaluaciones por Participante",
  color = colorRampPalette(c("red", "white", "green"))(100),
  breaks = seq(1, 5, length.out = 101),

```

```

labels_row = paste0("P", 1:9),
labels_col = names(etiquetas_preguntas)
)

# 9. Análisis por Pregunta Detallado ----
# Preparar datos para visualización detallada
datos_largo <- datos_encuesta %>%
  pivot_longer(cols = -Participante, names_to = "Pregunta", values_to = "Valoracion")
%>%
  mutate(
    Pregunta_Label = etiquetas_preguntas[Pregunta],
    Valoracion_Label = etiquetas_respuestas[as.character(Valoracion)]
  )

# Gráfico de barras para cada pregunta
ggplot(datos_largo, aes(x = factor(Valoracion), fill = factor(Valoracion))) +
  geom_bar() +
  facet_wrap(~ Pregunta, scales = "free", labeller = labeller(Pregunta =
etiquetas_preguntas)) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYlGn", name = "Valoración", labels =
etiquetas_respuestas) +
  labs(
    title = "Distribución de respuestas por pregunta",
    x = "Valoración",
    y = "Número de respuestas"
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(
    axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1),
    legend.position = "bottom"
  )
)

# 10. Gráfico Radar de Dimensiones ----
# Preparar datos para gráfico radar
datos_radar <- estadisticas_dimensiones %>%
  select(dimension, mean) %>%
  mutate(dimension = factor(dimension, levels = c("Legibilidad", "Visual",
"Navegabilidad", "Soporte", "Satisfaccion")))

# Crear gráfico radar
ggplot(datos_radar, aes(x = dimension, y = mean, group = 1)) +
  geom_polygon(fill = "lightblue", alpha = 0.5) +
  geom_point(size = 3, color = "blue") +
  geom_text(aes(label = round(mean, 2)), vjust = -0.8) +
  scale_y_continuous(limits = c(0, 5)) +
  coord_polar() +
  labs(
    title = "Evaluación por Dimensiones",
    x = "",
    y = ""
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(
    axis.text.y = element_text(size = 8),
    axis.ticks.y = element_line(color = "gray80")
  )
)

# 11. Alpha de Cronbach ----
# Calcular consistencia interna
alpha_resultado <- psych::alpha(datos_encuesta %>% select(-Participante))
print("Consistencia interna del instrumento:")

```

```

print(alpha_resultado$total)

# 12. Análisis de Ítems Críticos ----
# Identificar ítems con mayor variabilidad
items_criticos <- estadisticas_descriptivas %>%
  arrange(desc(cv)) %>%
  head(3)

print("Ítems con mayor variabilidad (posibles áreas críticas):")
print(items_criticos)

# 13. Exportar Resultados ----
# Guardar gráficos principales (descomentar para guardar)
ggsave("distribucion_respuestas.png", width = 10, height = 6)
ggsave("radar_dimensiones.png", width = 8, height = 8)
ggsave("clusters_usuarios.png", width = 10, height = 8)

# Guardar resumen (descomentar para guardar)
write.csv(estadisticas_formateadas, "estadisticas_preguntas.csv")
write.csv(perfil_clusters, "perfiles_usuarios.csv")

# 14. Conclusión ----
print("CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS:")

# Busca la dimensión con mayor correlación a 'Satisfaccion'
temp_vec <- matriz_correlacion_dimensiones[-5, "Satisfaccion"] # excluye la propia
fila/col del índice 5, si corresponde
max_corr_idx <- which.max(temp_vec)
max_corr_dim <- rownames(matriz_correlacion_dimensiones)[max_corr_idx]

cat("
1. Valoración general: ", round(mean(estadisticas_descriptivas$mean), 2), "/5 (",
  ifelse(mean(estadisticas_descriptivas$mean) >= 3.5, "Positiva", "Requiere
mejoras"), ")")

2. Fortalezas principales:
- ",
etiquetas_preguntas[estadisticas_descriptivas$pregunta[which.max(estadisticas_descript
ivas$mean)]], " (", round(max(estadisticas_descriptivas$mean), 2), "/5)
- Dimensión mejor valorada: ",
estadisticas_dimensiones$dimension[which.max(estadisticas_dimensiones$mean)], " (",
round(max(estadisticas_dimensiones$mean), 2), "/5)

3. Áreas de mejora:
- ",
etiquetas_preguntas[estadisticas_descriptivas$pregunta[which.min(estadisticas_descript
ivas$mean)]], " (", round(min(estadisticas_descriptivas$mean), 2), "/5)
- Ítem con mayor variabilidad: ", etiquetas_preguntas[items_criticos$pregunta[1]],
" (CV: ", round(items_criticos$cv[1], 1), "%)

4. Segmentación: Se identificaron ", nrow(perfil_clusters), " perfiles de usuario
distintos
- Grupo mayoritario: Cluster ",
perfil_clusters$Cluster[which.max(perfil_clusters$N)], " (",
round(max(perfil_clusters$Porcentaje), 1), "% de usuarios)

5. Correlación clave: La dimensión ", max_corr_dim, " tiene la mayor correlación con
la satisfacción general (r = ",
round(temp_vec[max_corr_idx], 2), ")
")

```