



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los de Recursos Naturales No Renovables

Maestría en Ingeniería en Software

Análisis del número de Requisitos de Accesibilidad Visual en la Fase de Requerimientos para el Cumplimiento Óptimo de los Estándares WCAG 2.1 en Aplicativos Web

Trabajo de Titulación,
previo a la obtención
del título de Magíster en
Ingeniería en Software

AUTOR:

Johanna Patricia Montaña Guamán

DIRECTOR:

Ing. Edison Leonardo Coronel Romero, Mg. Sc.

Loja - Ecuador
2025

Certificación

Loja, 17 de marzo del 2025

Ing. Edison Leonardo Coronel Romero, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis del número de Requisitos de Accesibilidad Visual en la Fase de Requerimientos para el Cumplimiento Óptimo de los Estándares WCAG 2.1 en Aplicativos Web**, previo a la obtención del título de **Magíster en Ingeniería en Software**, de la autoría del estudiante **Johanna Patricia Montaña Guamán con cedula de identidad Nro. 1106081779**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Edison Leonardo Coronel Romero, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Johanna Patricia Montaña Guamán** declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación del Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1106081779

Fecha: 17 de marzo de 2025.

Correo electrónico: johanna.montano@unl.edu.ec

Teléfono: 0989959383

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial y/o total publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Titulación.

Yo, **Johanna Patricia Montaña Guamán**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis del número de Requisitos de Accesibilidad Visual en la Fase de Requerimientos para el Cumplimiento Óptimo de los Estándares WCAG 2.1 en Aplicativos Web**, como requisito para optar al título de **Magíster en Ingeniería en Software**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de marzo de dos mil veinticinco.

Firma:

Autor: Johanna Patricia Montaña Guamán

Cédula: 1106081779

Dirección: Benjamin Carrion y Jorge Castillo, Loja - Ecuador

Correo Electrónico: johanna.montano@unl.edu.ec

Teléfono: 0989959383

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Edison Leonardo Coronel Romero, Mg. Sc.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo, en primer lugar, a Dios, por escuchar cada una de mis palabras y transformarlas en realidades. Él ha hecho posible que mis sueños se materialicen, dándome la fuerza necesaria para avanzar y no rendirme en este camino.

A mi madre, María Guamán, quien ha creído en mí desde el primer día en que emprendí esta travesía de la maestría. Todo lo que soy ahora, te lo debo a ti.

A mi tía, Carmita Guamán, mi fuente de inspiración constante. Aunque ahora me cuida desde el cielo, sé que ha escuchado los deseos de mi corazón y que se siente tan orgullosa de mí como yo lo estoy de su legado infinito. Su ejemplo de formación continua, rectitud y resiliencia en todo momento me ha marcado profundamente. Gracias por tus sabias palabras: “No existe nada imposible, y sé lo que vas a lograr”.

A toda mi familia y amigos, por su paciencia, comprensión y apoyo en momentos cruciales durante la elaboración de este trabajo.

Finalmente, mi gratitud más sincera y profunda es para mi querido colega y amigo, Omar Sanmartín. Gracias por ser parte de este sueño, por motivarme constantemente a no rendirme, por brindarme tu apoyo incondicional y por tus palabras alentadoras en los momentos más difíciles. Nada de esto habría sido posible sin tu respaldo y confianza

Johana Patricia Montaña Guamán

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la noble institución educativa, la gloriosa Universidad Nacional de Loja, por ser un pilar fundamental en mi vida. Esta universidad ha sido el lugar donde he forjado mi formación tanto a nivel de pregrado como de posgrado, brindándome una educación de los más altos estándares, que ha sido clave en cada uno de mis logros como profesional.

Agradezco profundamente a los docentes de la Universidad Nacional de Loja, quienes, a través de su experiencia y conocimientos, han dejado una huella imborrable en mi formación académica.

De manera especial, extiendo mi gratitud al ingeniero Robeth Figueroa, director del programa de titulación, por su constante compromiso y dedicación en el seguimiento de nuestra formación académica.

Asimismo, al ingeniero Edison Coronel, mi tutor de tesis, por sus valiosos consejos, correcciones y aportes, que han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, un agradecimiento especial a mi familia y amigos, por su comprensión, apoyo y paciencia durante todo el proceso de elaboración de este trabajo de titulación.

Johanna Patricia Montaña Guamán

Índice de Contenidos

| | |
|---|-------------|
| Portada | i |
| Certificación | ii |
| Autoría | iii |
| Carta de autorización | iv |
| Dedicatoria | v |
| Agradecimiento | vi |
| Índice de Contenidos | vii |
| Índice de tablas..... | ix |
| Índice de figuras | x |
| Índice de anexos..... | xii |
| Glosario | xiii |
| 1. Título | 1 |
| 2. Resumen | 2 |
| Abstract | 3 |
| 3. Introducción | 4 |
| 4. Marco Teórico | 5 |
| 4.1. Antecedentes..... | 5 |
| 4.1.1. Ingeniería de Requisitos en el Desarrollo de Software | 5 |
| 4.1.2. Accesibilidad Web | 6 |
| 4.1.3. Estándares WCAG 2.1 | 8 |
| 4.1.4. Accesibilidad Visual | 9 |
| 4.1.5. Especificación de Requisitos en la Fase de Requerimientos..... | 10 |
| 4.1.6. Importancia de la Accesibilidad en la Experiencia del Usuario | 11 |
| 4.2. Tecnologías WCAG | 13 |
| 4.3. Trabajos relacionados..... | 14 |
| 5. Metodología | 15 |
| 6. Resultados | 19 |
| 6.1. Identificar los requisitos de accesibilidad visual de acuerdo con los niveles de conformidad de los estándares WCAG 2.1 en aplicativos webs..... | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2. Evaluar el impacto de la implementación de diferentes cantidades de requisitos de accesibilidad visual en el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en un aplicativo web de procesos de negocio JBPM | 23 |
| 7. Discusión..... | 52 |
| 7.1. Identificar los requisitos de accesibilidad visual de acuerdo con los niveles de conformidad de los estándares WCAG 2.1 en aplicativos webs..... | 52 |
| 7.2. Evaluar el impacto de la implementación de diferentes cantidades de requisitos de accesibilidad visual en el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en un aplicativo web de procesos de negocio JBPM | 54 |
| 8. Conclusiones..... | 57 |
| 8.1. Trabajos Futuros..... | 58 |
| 9. Recomendaciones..... | 59 |
| 10. Bibliografía | 60 |
| 11. Anexos | 63 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Estándares clave identificados en WCAG 2.1 | 19 |
| Tabla 2. Requisitos Clave de Accesibilidad Visual Identificados | 20 |
| Tabla 3. Clasificación de requisitos según nivel de conformidad..... | 21 |
| Tabla 4. Catálogo de requisitos clasificados para accesibilidad visual | 21 |
| Tabla 5. Resumen de Elementos Clave Detectados | 23 |
| Tabla 6. Resultados de Evaluación con WAVE sin implementar requisitos | 47 |
| Tabla 7. Resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual..... | 47 |
| Tabla 8. Resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual en Porcentaje..... | 48 |
| Tabla 9. Correlación entre Criterios Evaluación de WAVE y Requisitos Implementados..... | 49 |
| Tabla 10. Nomenclatura de Resultados WAVE | 65 |
| Tabla 11. Resultados de Evaluación con WAVE sin implementar requisitos | 66 |
| Tabla 12. Resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual..... | 66 |
| Tabla 13. Resultados en formulario de Instancia de Récord Académico | 67 |
| Tabla 14. Resultados en formulario de Graduado Entrega Requisitos | 68 |
| Tabla 15. Resultados en formulario de Revisar Documentación de Graduado..... | 68 |
| Tabla 16. Resultados en formulario de Generar Récord Académico..... | 69 |
| Tabla 17. Resultados en formulario de Legalizar Récord Académico..... | 69 |
| Tabla 18. Diferencia de resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual | 70 |
| Tabla 19. Correlación entre Criterios Evaluación de WAVE y Requisitos Implementados.... | 73 |
| Tabla 20. Resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual en Porcentaje..... | 73 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Accesibilidad Web | 7 |
| Figura 2. Conformidad WCAG 2.1 | 8 |
| Figura 3. Accesibilidad Visual | 9 |
| Figura 4. Formulario Instancia de Récord Académico | 25 |
| Figura 5. Formulario Graduado Entrega Requisitos | 26 |
| Figura 6. Formulario Revisar documentación de Graduado | 26 |
| Figura 7. Formulario Generar Récord Académico | 27 |
| Figura 8. Formulario Legalizar Récord Académico | 27 |
| Figura 9. Campo layoutProperties en formulario de JBPM | 28 |
| Figura 10. Campo cssProperties en formulario de JBPM | 28 |
| Figura 11. Código para agregar Visibilidad de enfoque | 29 |
| Figura 12. Escalabilidad Base | 29 |
| Figura 13. Elemento escalable relativo | 30 |
| Figura 14. Edición de CSS desde visualmente desde JBPM | 30 |
| Figura 15. Edición de estructura semantica de manera visual | 31 |
| Figura 16. Edición de propiedades HTML | 31 |
| Figura 17. Edición de campos para agregar estructura semántica | 32 |
| Figura 18. Rama Feature de accesibilidad visual | 32 |
| Figura 19. Rama Feature/visual-accessibility publicada | 32 |
| Figura 20. Análisis WAVE de Instancia de Récord Académico antes de implementación | 33 |
| Figura 21. Formulario de Instancia de Récord Académico analizado con WAVE antes de implementación | 34 |
| Figura 22. Análisis WAVE de Graduado Entrega Requisitos antes de implementación | 34 |
| Figura 23. Formulario de Graduado Entrega Requisitos analizado con WAVE antes de implementación | 35 |
| Figura 24. Análisis WAVE de Revisar documentación de Graduado antes de implementación | 35 |
| Figura 25. Formulario de Revisar documentación de Graduado analizado con WAVE antes de implementación | 36 |
| Figura 26. Análisis WAVE de Generar Récord Académico antes de implementación | 36 |
| Figura 27. Formulario de Generar Récord Académico analizado con WAVE antes de implementación | 37 |
| Figura 28. Análisis WAVE de Legalizar Récord Académico antes de implementación | 37 |

| | |
|--|----|
| Figura 29. Formulario de Legalizar Récord Académico analizado con WAVE antes de implementación | 38 |
| Figura 30. Análisis WAVE de Instancia de Récord Académico después de implementación | 38 |
| Figura 31. Formulario de Instancia de Récord Académico analizado con WAVE después de implementación | 39 |
| Figura 32. Formulario de Instancia de Récord Académico sin CSS | 39 |
| Figura 33. Análisis WAVE de Graduado Entrega Requisitos después de implementación .. | 40 |
| Figura 34. Formulario de Graduado Entrega Requisitos analizado con WAVE después de implementación | 40 |
| Figura 35. Formulario de Graduado Entrega Requisitos sin CSS | 41 |
| Figura 36. Análisis WAVE de Revisar documentación de Graduado después de implementación | 41 |
| Figura 37. Formulario de Revisar documentación de Graduado analizado con WAVE después de implementación 1 | 42 |
| Figura 38. Formulario de Revisar documentación de Graduado analizado con WAVE después de implementación 2 | 42 |
| Figura 39. Formulario de Revisar documentación de Graduado sin CSS | 43 |
| Figura 40. Análisis WAVE de Generar Récord Académico después de implementación | 43 |
| Figura 41. Formulario de Generar Récord Académico analizado con WAVE después de implementación | 44 |
| Figura 42. Formulario de Generar Récord Académico sin CSS | 44 |
| Figura 43. Análisis WAVE de Legalizar Récord Académico después de implementación | 45 |
| Figura 44. Formulario de Legalizar Récord Académico analizado con WAVE después de implementación | 45 |
| Figura 45. Formulario de Legalizar Récord Académico sin CSS..... | 46 |
| Figura 46. Extensión web WAVE | 63 |
| Figura 47. Repositorio de Código fuente | 78 |

Índice de anexos

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Extensión “WAVE Evaluation Tool” para navegador | 63 |
| Anexo 2. Informe de Correlación de la Cantidad de Requisitos Implementados | 64 |
| Anexo 3. Repositorio de aplicación “Récord Académico” en JBPM | 78 |
| Anexo 4. Certificación de traducción del resumen de español a inglés..... | 79 |

Glosario

- **TT:** Trabajo de titulación.
- **Accesibilidad Web:** Capacidad de un sitio web para ser utilizado por personas con diferentes capacidades, incluyendo aquellas con discapacidades.
- **Alternativas Textuales:** Descripciones en texto para imágenes y elementos visuales, esenciales para lectores de pantalla.
- **Automatización de Evaluaciones:** Uso de herramientas como WAVE para identificar problemas de accesibilidad.
- **Clasificación de Requisitos:** Organización de requisitos según los niveles de conformidad A, AA y AAA de las WCAG 2.1.
- **Conformidad:** Grado de cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en un sitio o aplicación web.
- **Enfoque Metodológico:** Estrategia cualitativa, cuantitativa o mixta utilizada para conducir una investigación.
- **Escalabilidad del Texto:** Capacidad de aumentar el tamaño del texto sin perder funcionalidad ni legibilidad.
- **Herramientas de Evaluación:** Programas que verifican la accesibilidad, como WAVE, Axe y AChecker.
- **Indicador Visible de Enfoque:** Elemento visual que resalta componentes interactivos seleccionados.
- **Inclusión Digital:** Práctica de garantizar que las tecnologías sean accesibles para todos los usuarios.
- **JBPM:** Motor de procesos de negocio utilizado para implementar requisitos de accesibilidad.
- **Metodología:** Conjunto de técnicas y procesos aplicados para realizar una investigación.
- **Navegación por Teclado:** Capacidad de interactuar con un sitio web usando únicamente el teclado.
- **Reflujo de Contenido:** Ajuste automático del contenido web a diferentes tamaños de pantalla.
- **Revisión Sistemática de Literatura (RSL):** Método estructurado para analizar estudios relevantes sobre un tema.
- **Requisitos de Accesibilidad:** Criterios definidos por las WCAG 2.1 para garantizar aplicaciones accesibles para todos los usuarios.
- **Tamaño de Muestra:** Número de unidades analizadas en un estudio para representar a la población objetivo.

- **Tablas:** Herramientas gráficas para organizar y presentar datos en una investigación.
- **WCAG (Web Content Accessibility Guidelines):** Estándares internacionales para garantizar la accesibilidad web.
- **WAVE:** Web Accessibility Versatile Evaluator, en español Evaluador Versátil de Accesibilidad Web

1. Título

Análisis del número de Requisitos de Accesibilidad Visual en la Fase de Requerimientos para el Cumplimiento Óptimo de los Estándares WCAG 2.1 en Aplicativos Web

2. Resumen

Este trabajo aborda la implementación de requisitos de accesibilidad visual en el desarrollo de un aplicativo web para maximizar el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1. Se priorizaron cinco criterios clave: contraste de color, texto alternativo, etiquetas de formularios, estructura semántica y navegación accesible, los cuales permitieron alcanzar un cumplimiento inicial del 65-70% de conformidad con los estándares. A través del uso de herramientas como WAVE, se validó la efectividad de los requisitos implementados, identificando áreas críticas de mejora en el diseño y desarrollo del software. Además, se exploraron los desafíos asociados con plataformas como jBPM, donde la personalización está limitada, en contraste con desarrollos frontend desde cero, que ofrecen mayor flexibilidad para cumplir con los estándares. El estudio concluye que una selección estratégica de requisitos y un enfoque iterativo son esenciales para integrar accesibilidad desde las primeras fases del proyecto, asegurando una experiencia inclusiva y de alta calidad para los usuarios.

Palabras Clave: UNL, WCAG 2.1, WAVE, Inclusión digital, Accesibilidad visual

Abstract

This work addresses the implementation of visual accessibility requirements in the development of a web application to maximize compliance with WCAG 2.1 standards. Five key criteria were prioritized: color contrast, alternative text, form labels, semantic structure, and accessible navigation, which enabled an initial compliance level of 65-70% with the standards. Using tools such as WAVE, the effectiveness of the implemented requirements was validated, identifying critical areas for improvement in the design and development of the software. Additionally, the challenges associated with platforms like jBPM, where customization is limited, were explored in contrast to custom-built frontends, which offer greater flexibility for meeting the standards. The study concludes that a strategic selection of requirements and an iterative approach are essential to integrating accessibility from the early stages of the project, ensuring an inclusive and high-quality experience for users.

Keywords: UNL, WCAG 2.1, WAVE, Digital inclusion, Visual accessibility

3. Introducción

La accesibilidad web es un componente esencial en el desarrollo de aplicaciones digitales inclusivas, permitiendo que personas con discapacidades puedan interactuar con el contenido en igualdad de condiciones. En este contexto, las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG 2.1), elaboradas por el World Wide Web Consortium (W3C), han establecido un marco normativo que especifica los requisitos necesarios para garantizar que el contenido web sea accesible para todos los usuarios [1].

La importancia del tema radica en que, a pesar de que la accesibilidad digital se considera una obligación legal y ética en muchas jurisdicciones, su implementación efectiva aún enfrenta desafíos significativos. Entre estos, destacan la falta de conocimiento técnico sobre los estándares WCAG 2.1 y la limitada integración de herramientas de evaluación automatizadas en los procesos de desarrollo. Esto afecta especialmente a usuarios con discapacidades visuales, quienes representan una porción significativa de los afectados por barreras de accesibilidad [2][3]

El presente trabajo se centra en identificar los requisitos clave de accesibilidad visual, enfocados en los niveles de conformidad A y AA de las WCAG 2.1, para facilitar su adopción en el diseño y desarrollo de aplicaciones web. Los beneficios esperados incluyen la mejora de la experiencia del usuario, el cumplimiento de normativas legales y la promoción de la inclusión digital como estándar en la industria tecnológica.

A nivel académico, este trabajo se fundamenta en investigaciones previas que han demostrado la efectividad de herramientas como WAVE y Axe para evaluar accesibilidad. Sin embargo, se identifica un vacío en la priorización de los requisitos específicos que afectan la accesibilidad visual, especialmente en etapas tempranas del desarrollo [1][4]. Este vacío motiva el enfoque de esta investigación, que se propone como una contribución para resolver esta problemática.

El alcance del trabajo se limita al análisis de requisitos relacionados con los niveles de conformidad A y AA, los cuales representan las bases prácticas más comunes en el desarrollo web. Una limitación importante del trabajo es que no se aborda la accesibilidad en niveles más avanzados (AAA), ya que su implementación es menos frecuente y depende de contextos específicos.

Este trabajo busca contribuir al diseño de aplicaciones digitales más accesibles mediante la identificación y análisis de los requisitos de accesibilidad visual más relevantes, promoviendo así la integración de estándares internacionales en los procesos de desarrollo web.

4. Marco Teórico

4.1. Antecedentes

4.1.1. Ingeniería de Requisitos en el Desarrollo de Software

La ingeniería de requisitos es una disciplina esencial en el desarrollo de software, encargada de definir, documentar y mantener los requisitos a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Este proceso garantiza que el producto final satisfaga las necesidades y expectativas de los usuarios y demás partes interesadas. Según [5], la ingeniería de requisitos es la columna vertebral del desarrollo exitoso de software y sistemas, asegurando que todas las necesidades de las partes interesadas se capturen, analicen, documenten y gestionen de manera eficaz durante todo el ciclo de vida del proyecto

El proceso de ingeniería de requisitos generalmente incluye las siguientes etapas:

1. **Obtención de requisitos:** Consiste en recopilar información de las partes interesadas mediante entrevistas, encuestas y talleres para comprender sus necesidades y restricciones. Esta fase es crucial para asegurar que no se omitan aspectos críticos del sistema. La obtención de requisitos garantiza que no se pasen por alto necesidades críticas, lo que sienta las bases para unos requisitos precisos y completos [5].
2. **Análisis y negociación de requisitos:** Implica refinar y priorizar los requisitos, resolviendo posibles conflictos y asegurando su viabilidad técnica y alineación con los objetivos del proyecto. Esta fase aborda las ambigüedades y resuelve los conflictos, asegurando que los requisitos se alineen con los objetivos del proyecto [5].
3. **Especificación de requisitos:** Se refiere a la documentación detallada de los requisitos en un formato claro y preciso, que servirá como referencia para el equipo de desarrollo. Un documento bien estructurado de especificación de requisitos garantiza una comunicación fluida entre los equipos y las partes interesadas.
4. **Validación y verificación de requisitos:** Consiste en asegurar que los requisitos definidos reflejen correctamente las necesidades de las partes interesadas y que sean factibles de implementar dentro de las restricciones del proyecto. Esta fase implica revisiones, aprobaciones de las partes interesadas y pruebas para confirmar que los requisitos documentados cumplen los objetivos del proyecto [5].
5. **Gestión de requisitos:** Involucra el seguimiento y control de los requisitos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, manejando cambios y asegurando la trazabilidad desde su origen hasta su implementación. Este paso garantiza que todos los requisitos se controlen, actualicen y alineen con las necesidades cambiantes del proyecto [5].

La correcta aplicación de la ingeniería de requisitos es fundamental para mitigar riesgos en el desarrollo de software. Una gestión inadecuada de los requisitos puede conducir a retrasos, sobrecostos y productos que no satisfacen las expectativas de los usuarios. Burkin destaca la importancia de la ingeniería de requisitos efectiva para mitigar riesgos en el desarrollo de software, enfatizando que una recopilación adecuada de requisitos es crucial para crear productos de software seguros y exitosos que cumplan con las necesidades y expectativas del cliente [6].

En el contexto de metodologías ágiles, la ingeniería de requisitos se adapta para manejar la naturaleza iterativa y flexible de estos enfoques. Barata et al. realizaron una encuesta en empresas brasileñas de desarrollo de software, identificando que las prácticas ágiles de ingeniería de requisitos se centran en la obtención y especificación continua de requisitos, permitiendo una mejor adaptación a los cambios y una entrega más eficiente de valor al cliente [7].

Además, la integración de herramientas avanzadas y modelos de sistemas, como el Lenguaje de Modelado de Sistemas (SysML), facilita la gestión de requisitos en entornos complejos. Wheaton y Herber proponen un meta-modelo derivado de INCOSE para la ingeniería de requisitos digitales con SysML, lo que permite mejorar la calidad de la expresión de los requisitos y complementa las guías de ingeniería de sistemas existentes [8].

La ingeniería de requisitos es una disciplina esencial que tiene un enfoque estructurado y adaptativo lo que permite definir y gestionar eficazmente las necesidades y expectativas de las partes interesadas, asegurando el éxito en el desarrollo de sistemas de software.

4.1.2. Accesibilidad Web

La accesibilidad web se refiere a la práctica de diseñar, desarrollar y mantener sitios web y aplicaciones que puedan ser utilizados por todas las personas, independientemente de sus capacidades físicas, sensoriales o cognitivas. Esta práctica es fundamental para garantizar que las tecnologías de la información y la comunicación sean inclusivas y accesibles para todos.

El concepto de accesibilidad web está profundamente enraizado en los derechos humanos y la inclusión social. El World Wide Web Consortium (W3C), a través de su Iniciativa de Accesibilidad Web (WAI), establece que la accesibilidad web implica que todas las personas puedan percibir, entender, navegar e interactuar con la web, así como contribuir a ella [1]. Esto incluye a personas con diversas discapacidades, como ceguera, baja visión, sordera,

discapacidad auditiva, discapacidades del habla, limitaciones motoras, discapacidades cognitivas, entre otras.



Figura 1. Accesibilidad Web

La accesibilidad web no solo es una obligación ética y legal, sino que también ofrece beneficios económicos y de reputación a las organizaciones. Al hacer que los productos digitales sean accesibles, las empresas amplían su base de usuarios potenciales, mejoran la experiencia del usuario, fortalecen la lealtad de sus clientes y cumplen con las normativas legales vigentes. Estas normativas incluyen leyes como la Ley de Estadounidenses con Discapacidades (ADA) en los Estados Unidos, la Directiva de la Unión Europea sobre la accesibilidad de los sitios web y aplicaciones móviles del sector público [9], y la Sección 508 de la Ley de Rehabilitación en los Estados Unidos, que exige que toda la tecnología federal sea accesible para personas con discapacidades [10].

Además, el cumplimiento de las normativas de accesibilidad ayuda a las organizaciones a evitar consecuencias legales significativas, como demandas por discriminación o sanciones regulatorias. Las empresas que adoptan prácticas de accesibilidad desde las etapas tempranas del desarrollo de sus productos no solo evitan estos riesgos, sino que también se posicionan como líderes en responsabilidad social y compromiso con la inclusión [11].



Figura 2. Conformidad WCAG 2.1

4.1.3. Estándares WCAG 2.1

Las Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) son una serie de pautas internacionales desarrolladas por el W3C para ayudar a los diseñadores y desarrolladores a crear contenido web accesible para todos, incluidas las personas con discapacidades. Estas pautas son ampliamente reconocidas como el estándar de referencia para la accesibilidad web y se utilizan en todo el mundo como base para la legislación y las políticas sobre accesibilidad web.

La versión más reciente, WCAG 2.1, publicada en junio de 2018, amplía las pautas anteriores (WCAG 2.0) para abordar las necesidades de accesibilidad que han surgido con el avance de la tecnología y la expansión del uso de dispositivos móviles. Las WCAG 2.1 se basan en cuatro principios fundamentales, conocidos como los "principios POUR": Perceptible, Operable, Comprensible y Robusto [12].

- **Perceptible:** Los componentes de la interfaz de usuario y la información que se presenta deben ser presentados de manera que los usuarios puedan percibirlos. Esto incluye el uso de alternativas textuales para el contenido no textual (como imágenes), subtítulos para contenido multimedia, y garantizar un contraste de color adecuado entre el texto y el fondo para asegurar la legibilidad para personas con baja visión o daltonismo.
- **Operable:** Los componentes de la interfaz de usuario y la navegación deben ser operables [12]. Esto significa que los usuarios deben ser capaces de interactuar con todos los elementos de la página utilizando medios alternativos al mouse, como el teclado o dispositivos de asistencia. Además, se deben evitar los componentes que puedan causar convulsiones o reacciones físicas adversas.

- **Comprensible:** La información y el manejo de la interfaz de usuario deben ser comprensibles [12]. Esto incluye la legibilidad del contenido, la predictibilidad en el comportamiento de la interfaz, y la disponibilidad de asistencia para la entrada de datos (como instrucciones claras y mensajes de error detallados).
- **Robusto:** El contenido debe ser suficientemente robusto como para que pueda ser interpretado de manera fiable por una amplia variedad de dispositivos de usuario, incluidas las tecnologías de asistencia [12]. Esto asegura que el contenido web siga siendo accesible a medida que las tecnologías avanzan y emergen nuevas herramientas y dispositivos.

Además, las WCAG 2.1 introducen criterios adicionales que abordan áreas como la accesibilidad en dispositivos móviles, la interacción con pantallas táctiles, y el soporte para personas con discapacidades cognitivas o de aprendizaje [13].

4.1.4. Accesibilidad Visual

La accesibilidad visual es un aspecto crucial de la accesibilidad web que se enfoca en asegurar que las personas con discapacidades visuales puedan acceder al contenido y las funcionalidades de una aplicación web. Esto incluye a personas con ceguera total, baja visión, daltonismo, y otras condiciones visuales que afectan la manera en que perciben el contenido digital.

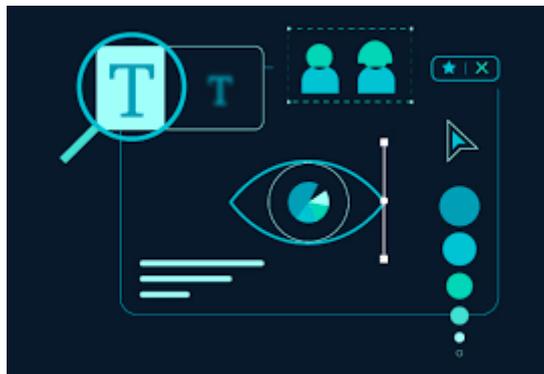


Figura 3. Accesibilidad Visual

Entre los requisitos más importantes de accesibilidad visual establecidos por las WCAG 2.1 se incluyen:

- **Contraste de Color:** Uno de los requisitos más fundamentales de las WCAG 2.1 es garantizar un contraste mínimo de 4.5:1 entre el texto y su fondo para asegurar la legibilidad para personas con baja visión o daltonismo [1]. Este requisito es crucial porque muchas personas con baja visión o daltonismo dependen del contraste para leer y comprender el contenido de una página web.
- **Escalabilidad del Texto:** Las WCAG 2.1 establecen que el texto debe ser escalable hasta un 200% sin pérdida de contenido o funcionalidad. Esta característica es esencial para usuarios con baja visión que dependen de ampliaciones de texto para leer cómodamente. Esto también implica que el diseño debe ser flexible y adaptarse a las ampliaciones sin que se produzcan desplazamientos horizontales o desbordamientos de texto [14].
- **Alternativas Textuales:** Es imperativo que las imágenes y otros elementos visuales tengan textos alternativos (alt text) que describan su contenido. Esta práctica permite que las personas que utilizan lectores de pantalla puedan acceder a la información visual, transformando el contenido visual en información auditiva o braille [15].
- **Evitar Contenido que Parpadea:** Las WCAG 2.1 recomiendan evitar el contenido que parpadea o destella, ya que puede desencadenar convulsiones en personas con fotosensibilidad. Este tipo de contenido también puede resultar molesto o distraer a otros usuarios, por lo que su uso debe ser limitado o acompañado de advertencias claras [1].

El cumplimiento de estos y otros requisitos de accesibilidad visual no solo facilita el acceso al contenido para personas con discapacidades visuales, sino que también mejora la experiencia de todos los usuarios al hacer que los sitios web sean más claros, legibles y fáciles de usar.

4.1.5. Especificación de Requisitos en la Fase de Requerimientos

La fase de requerimientos es una de las etapas más críticas en el ciclo de vida del desarrollo de software. Durante esta fase, se definen las características y funcionalidades que el producto final debe cumplir, y se documentan en un conjunto de requisitos que guiarán las etapas posteriores del desarrollo.

En el contexto de la accesibilidad web, la especificación de requisitos de accesibilidad en la fase de requerimientos es esencial para asegurar que los principios de accesibilidad se integren en el diseño y desarrollo del producto desde el principio. Especificar estos requisitos

de manera clara y detallada ayuda a evitar la necesidad de costosas modificaciones o reelaboraciones en etapas posteriores del desarrollo [16].

Los requisitos de accesibilidad visual deben ser priorizados en función de su impacto en la usabilidad del producto y su alineación con los estándares WCAG 2.1. La priorización de requisitos permite a los equipos de desarrollo enfocarse en los aspectos más críticos de la accesibilidad y asegurar que se implementen de manera efectiva.

- **Priorización de Requisitos:** Es importante priorizar los requisitos de accesibilidad en función de su impacto en la usabilidad del producto y su alineación con los estándares WCAG 2.1 [17]. Los requisitos de alto impacto, como el contraste de color o la navegación accesible, deben implementarse primero para garantizar que las funcionalidades esenciales sean accesibles para todos los usuarios.
- **Evaluación de Impacto:** La evaluación del impacto de los requisitos de accesibilidad en el diseño y desarrollo es crucial para asegurar que se implementen de manera efectiva y no se conviertan en una carga durante las etapas posteriores del proyecto. Esta evaluación puede incluir pruebas con usuarios con discapacidades para identificar posibles problemas de accesibilidad antes de que el producto se lance al mercado [18].
- **Revisión Continua:** Los requisitos de accesibilidad deben ser revisados y ajustados continuamente a medida que el proyecto avanza y se identifican nuevas necesidades o desafíos. Esta revisión continua asegura que el producto final cumpla con los estándares de accesibilidad más recientes y responda a las necesidades cambiantes de los usuarios [19].

Implementar un enfoque basado en la especificación de requisitos de accesibilidad en la fase de requerimientos no solo mejora la calidad del producto final, sino que también contribuye a un desarrollo más ágil y eficiente, evitando retrasos y sobrecostos asociados con la corrección de problemas de accesibilidad en etapas avanzadas del desarrollo.

4.1.6. Importancia de la Accesibilidad en la Experiencia del Usuario

La accesibilidad es un componente fundamental de la experiencia del usuario (UX), que se refiere a la calidad de la interacción de un usuario con un producto o servicio. Cuando los sitios web y aplicaciones son accesibles, no solo cumplen con los estándares legales y éticos, sino que también mejoran la usabilidad general y la satisfacción del usuario.

Los estudios han demostrado que mejorar la accesibilidad también mejora la satisfacción del usuario, lo que puede llevar a una mayor lealtad y tasas de retención en sitios web y

aplicaciones. La accesibilidad facilita que todos los usuarios, incluidos aquellos con discapacidades, puedan acceder y utilizar los servicios de manera efectiva, lo que resulta en una experiencia de usuario más inclusiva y equitativa [20].

- **Usabilidad y Accesibilidad:** La usabilidad y la accesibilidad están intrínsecamente ligadas. Un sitio web accesible es más fácil de navegar, más intuitivo y adaptable a diferentes contextos de uso. Esto no solo beneficia a los usuarios con discapacidades, sino que también mejora la experiencia para todos los usuarios, incluyendo aquellos que pueden estar utilizando dispositivos móviles, que tienen conexiones lentas a internet o que están en entornos ruidosos [21].
- **Responsabilidad Social Corporativa:** La accesibilidad es también un componente clave de la responsabilidad social corporativa (RSC). Las empresas que se comprometen con la accesibilidad demuestran su compromiso con la inclusión y la igualdad, lo que puede mejorar su reputación pública y fomentar un mayor compromiso de sus usuarios. Además, las organizaciones que priorizan la accesibilidad a menudo ven un aumento en la satisfacción del cliente y en la lealtad de los usuarios [22].
- **Accesibilidad como Ventaja Competitiva:** En un mercado cada vez más competitivo, la accesibilidad puede ser una ventaja competitiva. Las empresas que se aseguran de que sus productos sean accesibles para todos los usuarios pueden atraer a un segmento más amplio del mercado y diferenciarse de sus competidores. Además, la accesibilidad puede reducir la fricción en la experiencia del usuario, lo que puede llevar a tasas de conversión más altas y a una mayor satisfacción del cliente [23].

En resumen, la accesibilidad no solo es un imperativo técnico y legal, sino que también es fundamental para crear experiencias de usuario positivas, inclusivas y equitativas. Las empresas que adoptan prácticas de accesibilidad no solo cumplen con sus responsabilidades sociales, sino que también obtienen beneficios tangibles en términos de satisfacción del usuario, lealtad del cliente y ventaja competitiva.

La accesibilidad web ha sido un tema de creciente importancia desde el auge de la web en la década de 1990. Inicialmente, la accesibilidad se enfocaba en asegurar que las personas con discapacidades pudieran acceder a los mismos servicios y contenido que aquellos sin discapacidades. Con la evolución de la web y la creciente dependencia de la tecnología, la necesidad de hacer que las plataformas digitales sean inclusivas se ha vuelto más crítica [24].

Las primeras versiones de las Pautas de Accesibilidad al Contenido en la Web (WCAG) fueron publicadas en 1999, estableciendo un marco para diseñadores y desarrolladores que desearan crear sitios web accesibles [25]. Con el tiempo, estas pautas han evolucionado para adaptarse a los cambios tecnológicos y a las nuevas formas de interacción digital, resultando

en la publicación de WCAG 2.0 en 2008 y WCAG 2.1 en 2018, cada una introduciendo criterios más refinados para abordar una gama más amplia de discapacidades y contextos de uso [26].

El desarrollo de la accesibilidad web también ha sido impulsado por demandas legales y políticas gubernamentales, como la Sección 508 de la Ley de Rehabilitación en Estados Unidos y la Directiva de la Unión Europea sobre la accesibilidad de los sitios web y aplicaciones móviles del sector público [9].

4.2. Tecnologías WCAG

Las tecnologías mencionadas en las pautas WCAG son diversas y están diseñadas para asegurar que los contenidos web sean accesibles para todos los usuarios, independientemente de sus capacidades. Algunas de las tecnologías más relevantes incluyen:

- **HTML y ARIA (Accessible Rich Internet Applications):**

HTML, el lenguaje de marcado estándar para crear páginas web, proporciona las bases para la accesibilidad cuando se utiliza correctamente. ARIA es un conjunto de atributos que pueden ser añadidos al HTML para hacer las aplicaciones web más accesibles a personas que utilizan tecnologías de asistencia, como lectores de pantalla [27].

- **CSS (Cascading Style Sheets):**

CSS se utiliza para controlar la presentación de documentos HTML. Cuando se implementa de manera accesible, permite que el contenido sea percibido y operado por todos los usuarios, independientemente de sus capacidades visuales o de las tecnologías que utilizan para acceder al contenido [28].

- **JavaScript y herramientas de evaluación de accesibilidad:**

JavaScript, cuando se utiliza correctamente, puede mejorar la accesibilidad de un sitio web al mejorar la interacción y funcionalidad. Sin embargo, debe ser implementado con cuidado para no crear barreras de accesibilidad. Herramientas como WAVE y Axe son esenciales para evaluar la accesibilidad de los sitios web y asegurar que el contenido cumpla con las normas WCAG [12].

4.3. Trabajos relacionados

Diversos estudios han explorado la implementación de las pautas WCAG en diferentes contextos. Por ejemplo, Caldwell et al. (2008) realizaron un análisis exhaustivo sobre la eficacia de las WCAG 2.0 en la mejora de la accesibilidad web, concluyendo que, aunque las pautas son completas, su implementación efectiva requiere un entendimiento profundo y una adaptación a las necesidades específicas de cada sitio web [29].

En otro estudio, Henry y Trewin (2018) investigaron la incorporación de los estándares WCAG 2.1 en aplicaciones móviles, resaltando los desafíos y las mejores prácticas para asegurar que las aplicaciones móviles sean accesibles para personas con discapacidades visuales [30].

Además, investigaciones recientes han abordado la accesibilidad web desde una perspectiva de diseño inclusivo, enfocándose en cómo los principios de accesibilidad pueden ser integrados desde las primeras etapas del desarrollo de software, mejorando la usabilidad general de las aplicaciones web para todos los usuarios [31].

Estas investigaciones y estudios previos sirven como base para el presente proyecto, que busca cuantificar y analizar la relación entre los requisitos de accesibilidad visual y el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en aplicaciones web.

5. Metodología

El Trabajo de Titulación se desarrolló en el contexto de la accesibilidad web, específicamente en la evaluación de conformidad con los estándares **WCAG 2.1**. Los análisis se llevaron a cabo aplicando los requisitos clave de accesibilidad visual en un entorno de pruebas controlado, utilizando como caso de estudio el motor de procesos **JBPM**.

La metodología aplicada en este proyecto se describe a continuación:

Para resolver el **Objetivo 1**: *“Identificar los requisitos de accesibilidad visual de acuerdo con los niveles de conformidad de los estándares WCAG 2.1 en aplicativos web”*, se desarrolló

- **Revisión Bibliográfica:** Se realizó una revisión sistemática de literatura para identificar y clasificar los requisitos más relevantes de accesibilidad visual según las WCAG 2.1.

Las fuentes consultadas incluyeron el estándar oficial WCAG 2.1 (W3C, 2018) y estudios recientes sobre accesibilidad web.

- **Selección de Requisitos Clave:** A partir de la revisión bibliográfica, fueron seleccionados 10 requisitos clave relacionados con accesibilidad visual.

La selección fue basada en su impacto en la usabilidad y su aplicabilidad en interfaces digitales, priorizando los niveles A y AA.

- **Clasificación de Requisitos:**

Los 10 requisitos seleccionados fueron clasificados según su nivel de conformidad (A o AA).

Fue desarrollado un catálogo estructurado de requisitos como referencia para futuras implementaciones

Para resolver el **Objetivo 2**: *“Evaluar el impacto de la implementación de diferentes cantidades de requisitos de accesibilidad visual en el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en un aplicativo web de procesos de negocio JBPM”*, se implementó:

- **Aplicación de Requisitos:**

Fueron seleccionados cinco requisitos clave del catálogo para su implementación en el motor de procesos JBPM, aplicados en la funcionalidad “Récord Académico”.

La implementación estuvo centrada en optimizar elementos visuales como contraste de color, escalabilidad del texto y encabezados descriptivos.

- **Evaluación de Conformidad:**

La herramienta WAVE fue utilizada para evaluar el nivel de conformidad alcanzado tras la implementación de los requisitos.

Los resultados obtenidos fueron registrados y organizados para su análisis y correlación.

- **Análisis de Correlación:**

Fue realizado un análisis para correlacionar la cantidad de requisitos implementados con el nivel de conformidad alcanzado.

Se generó un informe con los hallazgos, destacando las mejoras en accesibilidad visual y los retos identificados durante el proceso.

El enfoque metodológico utilizado fue **mixto**, ya que combinó:

- **Cuantitativo:** Recolección de datos medibles mediante la herramienta automatizada WAVE, como el número de errores detectados y los niveles de conformidad alcanzados.
- **Cualitativo:** Análisis interpretativo de los resultados para evaluar el impacto de los requisitos implementados en términos de accesibilidad visual.

Las técnicas utilizadas fueron:

- **Evaluación de Accesibilidad Automatizada:**

La herramienta **WAVE** fue empleada para identificar y clasificar errores relacionados con los estándares WCAG 2.1 en las pantallas del sistema JBPM.

- **Análisis de Resultados:**

Se realizó un análisis descriptivo y cuantitativo para correlacionar la cantidad de requisitos implementados con los niveles de conformidad obtenidos.

- **Generación de Informes:**

Se elaboraron informes que resumen los hallazgos clave y las áreas de mejora en accesibilidad visual.

La unidad de análisis correspondió a las pantallas seleccionadas del sistema JBPM de la aplicación “Récord académico”, las cuales fueron:

1. Instancia de Récord Académico.
2. Graduado Entrega Requisitos.
3. Revisar Documentación de Graduado.
4. Generar Récord Académico.

5. Legalizar Récord Académico.

Estas pantallas fueron elegidas por su relevancia en el flujo del proceso y la interacción que presentan con los usuarios.

La muestra fue de tipo **intencional no probabilística** y estuvo constituida por cinco pantallas principales del sistema JBPM aplicación “Récord académico”, representativas de las funcionalidades evaluadas. Este tamaño de muestra permitió un análisis exhaustivo de los elementos de accesibilidad visual.

El muestreo aplicado fue **intencional**, seleccionándose únicamente aquellas pantallas que cumplen con los siguientes criterios:

Criterios de Inclusión:

- Pantallas con elementos visuales e interactivos relevantes para la evaluación de accesibilidad.
- Pantallas que forman parte del flujo principal del proceso de generación de Récord Académico.

Criterios de Exclusión:

- Pantallas secundarias o sin relevancia directa para el objetivo de la evaluación.
- Pantallas sin elementos interactivos o visuales significativos.

Herramientas Utilizadas

- **WAVE:** Herramienta de evaluación automatizada empleada para analizar la conformidad del sistema con los criterios definidos por las WCAG 2.1.
- **Excel:** Utilizado para registrar los resultados de las evaluaciones y generar tablas comparativas.

Procedimiento

1. Selección de Criterios Evaluados:

- Fueron definidos los criterios de accesibilidad visual más relevantes según las WCAG 2.1, enfocados en los niveles A y AA:
 - Contraste de color (1.4.3).
 - Indicador visible de enfoque (2.4.7).
 - Escalabilidad del texto (1.4.4).
 - Navegación por teclado (2.1.1).
 - Estructura semántica (1.3.1).

2. Evaluación Inicial del Sistema:

- La herramienta WAVE fue utilizada para realizar una evaluación inicial del sistema desarrollado en JBPM denominado “Récord académico”.
- Los resultados obtenidos fueron registrados en una tabla, identificando errores relacionados con cada criterio evaluado.

3. Análisis de Resultados:

- Los datos recopilados fueron organizados y analizados para determinar el nivel de conformidad actual del sistema.
- Fueron calculadas métricas clave, como el porcentaje de errores por criterio y el impacto de estos en la experiencia del usuario con información obtenida de WAVE.

4. Generación de Informes:

- Se elaboraron dos informes principales:
 - **Informe de evaluación:** Resumen del nivel de conformidad del sistema con los criterios evaluados.
 - Informe de Correlación de la cantidad de requisitos implementados

6. Resultados

6.1. Identificar los requisitos de accesibilidad visual de acuerdo con los niveles de conformidad de los estándares WCAG 2.1 en aplicativos webs

Revisión Bibliográfica

La Revisión Sistemática de Literatura (RSL) realizada como parte del anteproyecto identificó estándares clave de accesibilidad visual según las WCAG 2.1, destacando su impacto en la accesibilidad y su nivel de conformidad.

Tabla 1. Estándares clave identificados en WCAG 2.1

| Estándar WCAG | Descripción | Nivel de Conformidad |
|---------------------|---|----------------------|
| 1.4.3 Contraste | Relación de contraste mínima de 4.5:1 entre texto y fondo. | AA |
| 1.1.1 Alternativas | Proveer descripciones textuales para imágenes y gráficos. | A |
| 1.4.4 Escalabilidad | Permitir que el texto sea escalable hasta un 200%. | AA |
| 2.4.6 Encabezados | Uso de encabezados descriptivos y bien estructurados. | AA |
| 1.4.10 Reflujo | Asegurar que el contenido se adapte sin pérdida de funcionalidad. | AA |

Nota: Estos estándares se seleccionaron debido a su impacto directo en usuarios con discapacidades visuales y su relevancia en el diseño accesible, véase [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#)

Selección de Requisitos Clave

De los estándares identificados en la revisión, se seleccionaron **10 requisitos clave** por su aplicabilidad técnica y relevancia en accesibilidad visual. Los requisitos seleccionados incluyen:

Tabla 2. Requisitos Clave de Accesibilidad Visual Identificados

| Requisito | Criterio WCAG | Nivel de Conformidad | Descripción |
|------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|
| Contraste de color | 1.4.3 | AA | Relación de contraste mínima de 4.5:1 entre texto y fondo. |
| Alternativas textuales | 1.1.1 | A | Proveer descripciones textuales para imágenes y gráficos. |
| Encabezados descriptivos | 2.4.6 | AA | Uso de encabezados claros y estructurados para mejorar la navegación. |
| Escalabilidad del texto | 1.4.4 | AA | Permitir que el texto sea escalable hasta un 200% sin pérdida de funcionalidad. |
| Indicador visible de enfoque | 2.4.7 | AA | Proveer un indicador visible para elementos interactivos seleccionados. |
| Uso del color no exclusivo | 1.4.1 | A | Evitar depender únicamente del color para transmitir información. |
| Reflujo de contenido | 1.4.10 | AA | Garantizar que el contenido se ajuste a distintos tamaños de pantalla. |
| Navegación por teclado | 2.1.1 | A | Hacer que todo el contenido sea operable mediante teclado. |
| Evitar contenido parpadeante | 2.3.1 | A | Prevenir contenido que parpadee más de tres veces por segundo. |
| Estructura semántica | 1.3.1 | A | Usar etiquetas semánticas para transmitir relaciones entre elementos. |

Clasificación de Requisitos

Los requisitos seleccionados fueron clasificados según su nivel de conformidad (A y AA) para facilitar su implementación en el desarrollo de aplicaciones web accesibles.

Tabla 3. Clasificación de requisitos según nivel de conformidad

| Nivel de Conformidad | Requisitos |
|----------------------|---|
| A (Básico) | Alternativas textuales, uso del color, navegación por teclado, evitar parpadeo, estructura semántica. |
| AA (Intermedio) | Contraste de color, escalabilidad del texto, encabezados descriptivos, indicador de enfoque, reflujo. |

Catalogación Final de Requisitos

Con base en la selección y clasificación, se generó un catálogo de requisitos que servirá como referencia para su implementación en aplicaciones web.

Tabla 4. Catálogo de requisitos clasificados para accesibilidad visual

| Requisito | Descripción |
|------------------------------|--|
| Contraste de color | El sistema debe garantizar que todos los textos y elementos visuales tengan un contraste mínimo de 4.5:1 respecto al fondo, en conformidad con el criterio 1.4.3 de WCAG 2.1. |
| Escalabilidad del texto | El sistema debe permitir que el texto sea escalable hasta un 200% sin afectar la funcionalidad ni la legibilidad del contenido, en cumplimiento con el criterio 1.4.4 de WCAG 2.1. |
| Indicador Visible de Enfoque | El sistema debe proporcionar un indicador visible para todos los elementos interactivos (botones, enlaces, campos de formulario) cuando reciban el enfoque mediante teclado, cumpliendo con el criterio 2.4.7 de WCAG 2.1. |
| Navegación por teclado | El sistema debe permitir que todos los elementos funcionales sean accesibles mediante teclado, sin |

| | |
|----------------------|---|
| | requerir el uso de un mouse, en conformidad con el criterio 2.1.1 de WCAG 2.1. |
| Estructura semántica | El sistema debe utilizar etiquetas HTML semánticas y atributos ARIA para estructurar correctamente el contenido, proporcionando roles y estados comprensibles por tecnologías de asistencia, según el criterio 1.3.1 de WCAG 2.1. |

6.2. Evaluar el impacto de la implementación de diferentes cantidades de requisitos de accesibilidad visual en el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en un aplicativo web de procesos de negocio JBPM

Aplicar 5 requisitos de accesibilidad visual en el motor de procesos JBPM

La aplicación por analizar es “Récord Académico” implementada en el motor de procesos JBPM (JBoss Business Process Manager) la cual consiste en un trámite estudiantil que se genera en la carrera de Ingeniería en Sistema de la Universidad Nacional de Loja [32].

De los 10 requisitos seleccionados previamente, se eligieron 5 como clave para su implementación en el motor de procesos JBPM. Esta selección consideró las limitaciones de diseño propias de la aplicación. Los requisitos implementados fueron:

1. Contraste de color (1.4.3).
2. Indicador visible de enfoque (2.4.7).
3. Escalabilidad del texto (1.4.4).
4. Navegación por teclado (2.1.1).
5. Estructura semántica (1.3.1).

A continuación, se presenta una tabla con los elementos clave identificados durante la evaluación inicial:

Tabla 5. Resumen de Elementos Clave Detectados

| Requisito | Criterio WCAG | Nivel de Conformidad | Justificación de Selección |
|------------------------------|---------------|----------------------|--|
| Contraste de color | 1.4.3 | AA | Es aplicable fácilmente a interfaces JBPM ajustando estilos CSS. La herramienta WAVE puede evaluar automáticamente este requisito. |
| Indicador visible de enfoque | 2.4.7 | AA | JBPM permite aplicar estilos visuales (como contornos) a elementos interactivos mediante CSS, y WAVE detecta la falta de indicadores de enfoque. |
| Navegación por teclado | 2.1.1 | A | Es posible validar si todos los elementos interactivos son accesibles con teclado. WAVE |

| | | | |
|-------------------------|-------|----|--|
| | | | evalúa automáticamente la navegabilidad básica. |
| Escalabilidad del texto | 1.4.4 | AA | Se puede lograr ajustando las unidades de texto en CSS. WAVE no valida directamente, pero sí detecta problemas de texto escalable asociado al reflujo. |
| Estructura semántica | 1.3.1 | A | JBPM genera componentes HTML donde se pueden aplicar etiquetas semánticas para mejorar la estructura. WAVE detecta etiquetas incorrectas o faltantes |

Se seleccionaron los requisitos en base a:

Contraste de Color (1.4.3):

- Es uno de los problemas más comunes en interfaces web.
- Es fácil de implementar con ajustes de CSS en las paletas de colores utilizadas en JBPM.
- La herramienta WAVE lo evalúa automáticamente, proporcionando resultados claros.

Indicador Visible de Enfoque (2.4.7):

- Permite mejorar la accesibilidad para usuarios que navegan con teclado.
- Se puede aplicar con estilos CSS (outline o focus-visible).
- WAVE evalúa la existencia de estos indicadores.

Navegación por Teclado (2.1.1):

- Asegura que todos los elementos interactivos (botones, formularios, menús) puedan ser utilizados sin un ratón.
- WAVE valida la navegación básica y resalta problemas como elementos sin atributos de enfoque.

Escalabilidad del Texto (1.4.4):

- Permite a los usuarios ajustar el tamaño del texto sin perder funcionalidad.
- Requiere el uso de unidades relativas como em o % en lugar de valores fijos.

- Aunque no es validado directamente por WAVE, sí se pueden detectar problemas colaterales (como reflujo o desbordamiento de contenido).

Estructura Semántica (1.3.1):

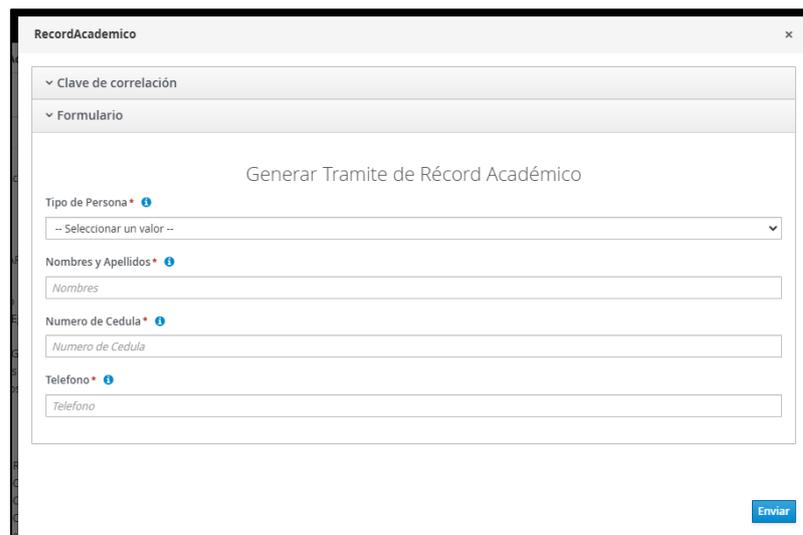
- Garantiza que los elementos HTML sigan un orden lógico y semántico adecuado, facilitando la navegación por lectores de pantalla.
- WAVE detecta errores como etiquetas faltantes (<h1>, <h2>, etc.) o mal estructuradas.

Los requisitos que fueron excluidos son:

- **Alternativas textuales (1.1.1):** Requiere intervención manual para agregar descripciones, lo cual podría exceder el alcance en JBPM.
- **Reflujo de contenido (1.4.10):** Es más complejo en plataformas preconfiguradas como JBPM.
- **Uso del color no exclusivo (1.4.1):** Aunque es importante, puede ser redundante si el contraste de color ya se mejora.
- **Evitar contenido parpadeante (2.3.1):** No aplica si el sistema no incluye contenido animado.
- **Encabezados descriptivos (2.4.6):** Aunque útil, puede solaparse con la estructura semántica (1.3.1).

Las funcionalidades de la aplicación que se encuentran asociadas a sus pantallas principales y que fueron utilizadas en este estudio son:

- Instancia de Récord Académico



The screenshot shows a web browser window titled "RecordAcademico". Inside, there is a form titled "Generar Tramite de Récord Académico". The form has a header section with "Clave de correlación" and "Formulario" expandable sections. Below these, there are four input fields, each with a blue information icon: "Tipo de Persona" (a dropdown menu with "-- Seleccionar un valor --"), "Nombres y Apellidos" (with a sub-label "Nombres"), "Numero de Cedula" (with a sub-label "Numero de Cedula"), and "Telefono" (with a sub-label "Telefono"). A blue "Enviar" button is positioned at the bottom right of the form area.

Figura 4. Formulario Instancia de Récord Académico

- **Graduado Entrega Requisitos**

Figura 5. Formulario Graduado Entrega Requisitos

- **Revisar documentación de Graduado**

Figura 6. Formulario Revisar documentación de Graduado

- Generar Récord Académico

Figura 7. Formulario Generar Récord Académico

- Legalizar Récord Académico

Figura 8. Formulario Legalizar Récord Académico

Los cinco requisitos de accesibilidad visual fueron implementados en el motor de procesos JBPM para el proyecto 'Récord Académico'.

A partir de la funcionalidad actual se creó una nueva rama llamada “feature/visual-accessibility” para agregar los cambios respecto a la accesibilidad.

Los cambios que se hicieron son pequeños dado la limitación de JBPM para modificar estilos en sus pantallas, esto se debe a que JBPM no maneja un código HTML sino un archivo json lo que limita la personalización en gran medida.

Contraste de Color (1.4.3)

Una limitante que se encontró es no poder cambiar el estilo a los botones dentro del formulario dado que no se pueden personalizar.

Dentro del formulario las partes donde se puede cambiar el estilo en:

- layoutProperties

```
},
"layoutTemplate": {
  "version": 3,
  "style": "FLUID",
  "layoutProperties": {
    "color": "#000000"; /* Texto negro */
    "background-color": "#FFFFFF"; /* Fondo blanco */
  },
  "rows": [
```

Figura 9. Campo layoutProperties en formulario de JBPM

- cssProperties

```
},
"parts": [
  {
    "partId": "ListBox",
    "cssProperties": {
      "color": "#000000"; /* Texto negro */
      "background-color": "#FFFFFF"; /* Fondo blanco */
    }
  },
  {
```

Figura 10. Campo cssProperties en formulario de JBPM

Indicador Visible de Enfoque (2.4.7)

En el contexto de JBPM no se puede asociar directamente el comportamiento de un focus (como en CSS estándar), ya que el JSON no interpreta pseudoclasas como focus.

Sin embargo, se puede simular el efecto visual que tendría focus en los elementos mediante el uso de cssProperties y aprovechar el estilo permanente aplicado a los componentes.

```
"layoutComponents": [
  {
    "dragTypeName": "org.kie.workbench.common.forms.editor.client.",
    "properties": {
      "field_id": "Field_34342",
      "form_id": "7f78a167-06ac-4943-bbba-bb1779789816"
    },
    "parts": [
      {
        "partId": "ListBox",
        "cssProperties": {
          "outline": "2px solid #ffcc00",
          "outline-offset": "2px"
        }
      },
      {
        "partId": "Field Label",
        "cssProperties": {
          "outline": "2px solid #ffcc00",
          "outline-offset": "2px"
        }
      }
    ]
  }
]
```

Figura 11. Código para agregar Visibilidad de enfoque

Escalabilidad del Texto (1.4.4)

Para la escalabilidad del texto se agregaron dos parámetros importantes:

- **Base del Texto**

Sirve para configurar el tamaño base en un elemento como font-size: 100%, permite que el texto escale automáticamente cuando el usuario ajusta el tamaño de fuente en el navegador.

```
],
"layoutTemplate": {
  "version": 3,
  "style": "FLUID",
  "layoutProperties": {
    "color": "#000000",
    "background-color": "#FFFFFF",
    "font-size": "100%"
  },
  "rows": [
```

Figura 12. Escalabilidad Base

- **Elementos Relativos:**

Se define para los tamaños de texto en relación con el tamaño base, para párrafos estándar, font-size: 1.2em es ideal para un texto legible (120% del tamaño base).

```
},
"parts": [
  {
    "partId": "ListBox",
    "cssProperties": {
      "outline": "2px solid #ffcc00",
      "outline-offset": "2px",
      "font-size": "1.2em"
    }
  },
  {
    "partId": "Field Label",
    "cssProperties": {
      "outline": "2px solid #ffcc00",
      "outline-offset": "2px",
      "font-size": "1.2em"
    }
  }
]
}
```

Figura 13. Elemento escalable relativo

Navegación por Teclado (2.1.1)

JBPM no permite agregar código Javascript para dar soporte a elementos interactivos para la navegación por teclado.

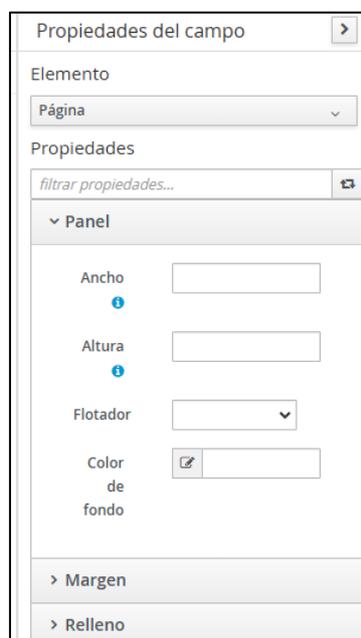


Figura 14. Edición de CSS desde visualmente desde JBPM

Estructura Semántica (1.3.1)

Estas etiquetas estaban previamente configuradas y se lo puede hacer desde el portal visual de JBPM en la sección de editar propiedades del campo.

Los elementos clave a editar para asegurar una estructura semantica son:

- Etiqueta
- Marcador de Posición
- Mensaje de ayuda

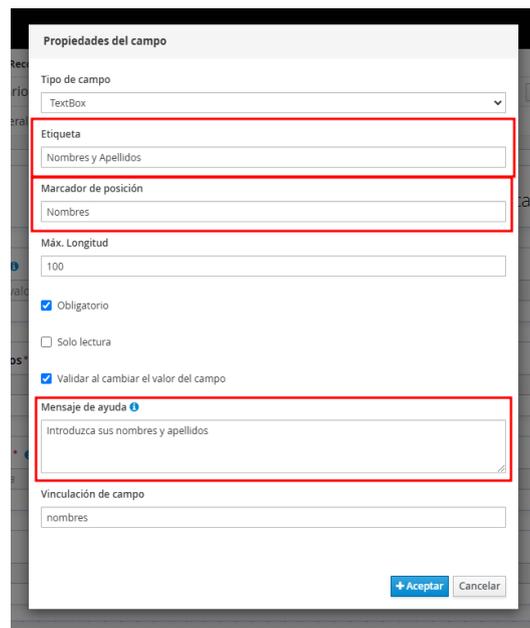


Figura 15. Edición de estructura semantica de manera visual

```
    "properties": {},
    "layoutColumns": [
      {
        "span": "12",
        "height": "12",
        "properties": {
          "aria-label": "Formulario para cargar documentos de Récord Académico"
        },
        "rows": [],
        "layoutComponents": [
          {
            "dragTypeName": "org.kie.workbench.common.forms.editor.client.editor.render",
            "properties": {
```

Figura 16. Edición de propiedades HTML

```
SerializedFieldClassName: "org.kie.workbench.common.forms.field
},
{
  "maxLength": 100,
  "placeholder": "Nombres",
  "id": "field_3901",
  "name": "nombres",
  "label": "Nombres y Apellidos",
  "required": true,
  "readOnly": false,
  "validateOnChange": true,
  "helpMessage": "Introduzca sus nombres y apellidos",
  "binding": "nombres",
  "standaloneClassName": "java.lang.String",
  "code": "TextBox",
  "serializedFieldClassName": "org.kie.workbench.common.forms.field
},
{
```

Figura 17. Edición de campos para agregar estructura semántica

Todos estos nuevos cambios se guardaron en una nueva rama llamada feature/visual-accessibility la cual se publicó en el repositorio de <https://github.com/universidad-nacional-de-loja/Record-Academico-jBPM.git>

```
* feature/visual-accessibility
master
```

Figura 18. Rama Feature de accesibilidad visual

Publicación en repositorio remoto en específico en una rama:

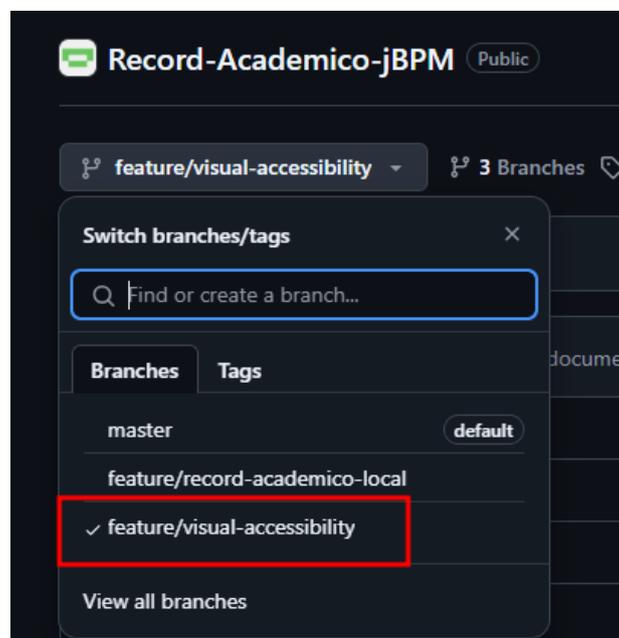


Figura 19. Rama Feature/visual-accessibility publicada

Emplear la herramienta WAVE para evaluar el nivel de conformidad

Luego de haber aplicado los 5 requisitos de accesibilidad visual seleccionados como claves en el motor de procesos JBPM en la aplicación "Récord Académico" se procedió a evaluar su nivel de conformidad haciendo uso de la herramienta WAVE en 5 pantallas.

1. **Instancia de Récord Académico:** Inicio del proceso de creación del récord académico.
2. **Graduado Entrega Requisitos:** Formulario para subir los documentos necesarios.
3. **Revisar documentación de Graduado:** Interfaz de revisión de documentos entregados.
4. **Generar Récord Académico:** Proceso automatizado para generar el documento.
5. **Legalizar Récord Académico:** Pantalla de validación y firma final del récord académico.

Para evaluar adecuadamente la implementación de los cinco requisitos de accesibilidad en el aplicativo 'Récord Académico' de JBPM, se utilizó la herramienta WAVE tanto antes como después de aplicar dichos requisitos de accesibilidad visual.

Antes de Aplicar Requisitos de Accesibilidad Visual

1. **Instancia de Récord Académico**

Análisis WAVE

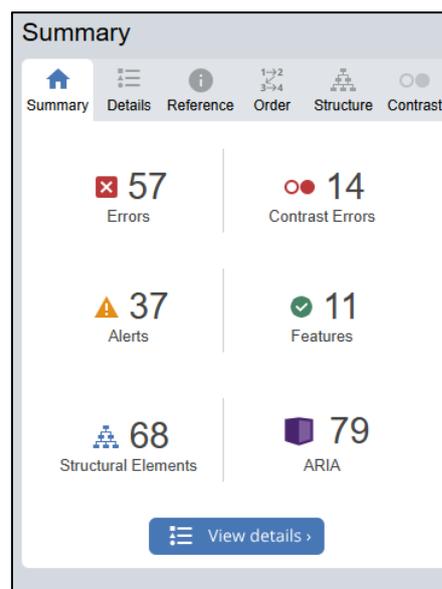


Figura 20. Análisis WAVE de Instancia de Récord Académico antes de implementación

Figura 21. Formulario de Instancia de Récord Académico analizado con WAVE antes de implementación

2. Graduado Entrega Requisitos

Análisis WAVE

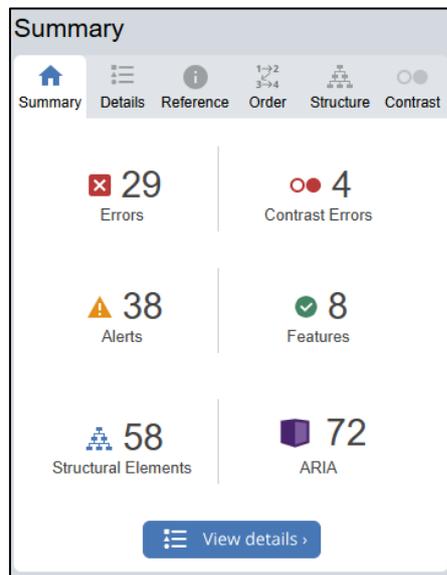


Figura 22. Análisis WAVE de Graduado Entrega Requisitos antes de implementación

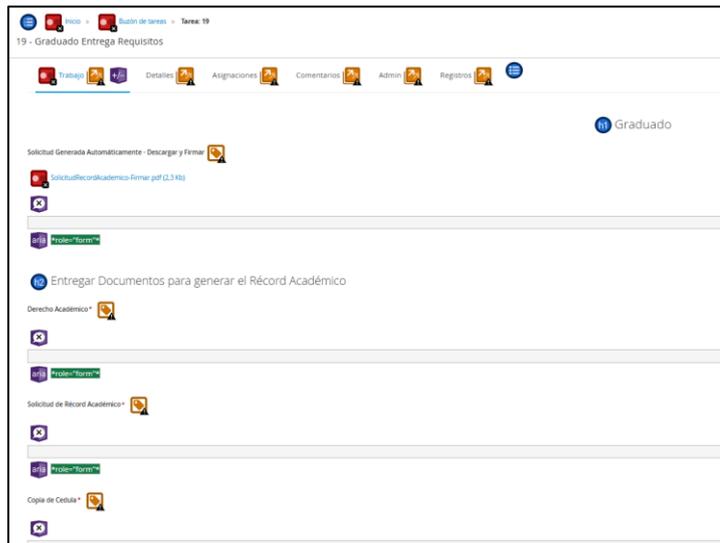


Figura 23. Formulario de Graduado Entrega Requisitos analizado con WAVE antes de implementación

3. Revisar Documentación de Graduado

Análisis WAVE

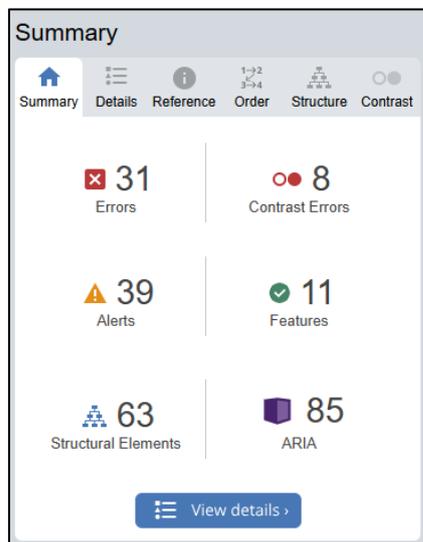


Figura 24. Análisis WAVE de Revisar documentación de Graduado antes de implementación

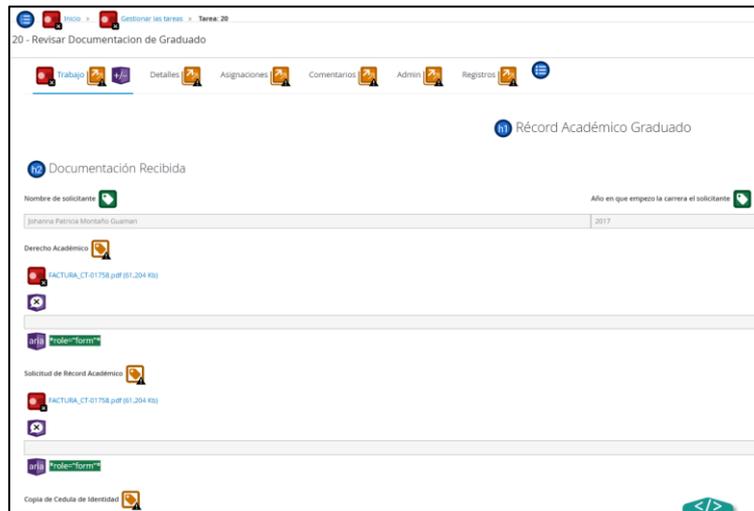


Figura 25. Formulario de Revisar documentación de Graduado analizado con WAVE antes de implementación

4. Generar Récord Académico

Análisis WAVE

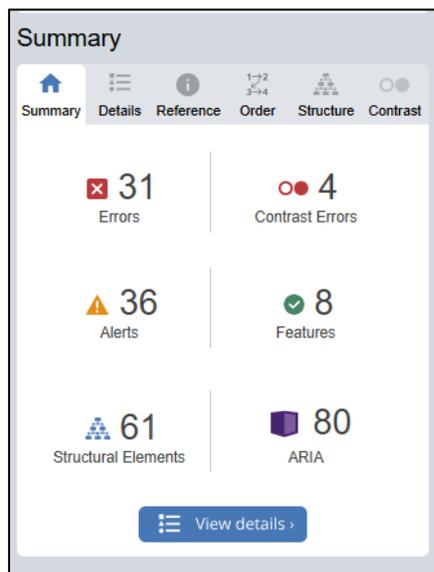


Figura 26. Análisis WAVE de Generar Récord Académico antes de implementación

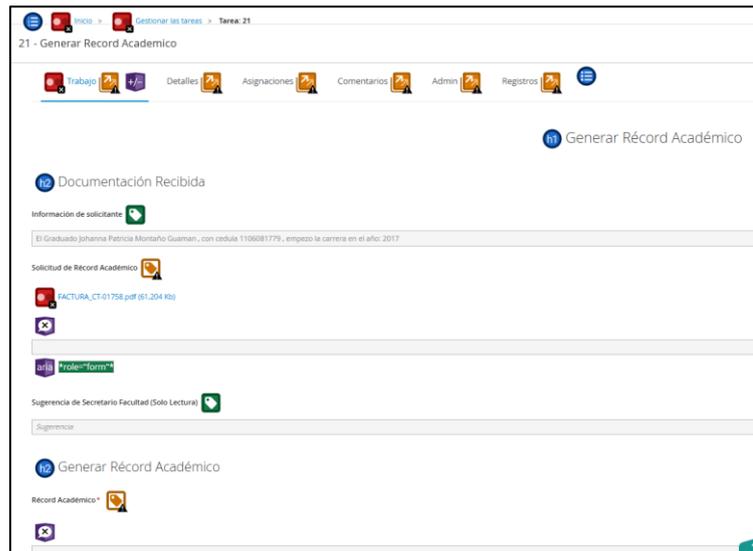


Figura 27. Formulario de Generar Récord Académico analizado con WAVE antes de implementación

5. Legalizar Récord Académico

Análisis WAVE

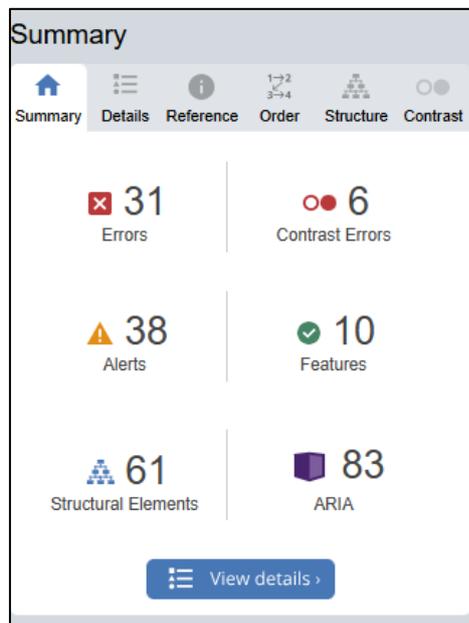


Figura 28. Análisis WAVE de Legalizar Récord Académico antes de implementación

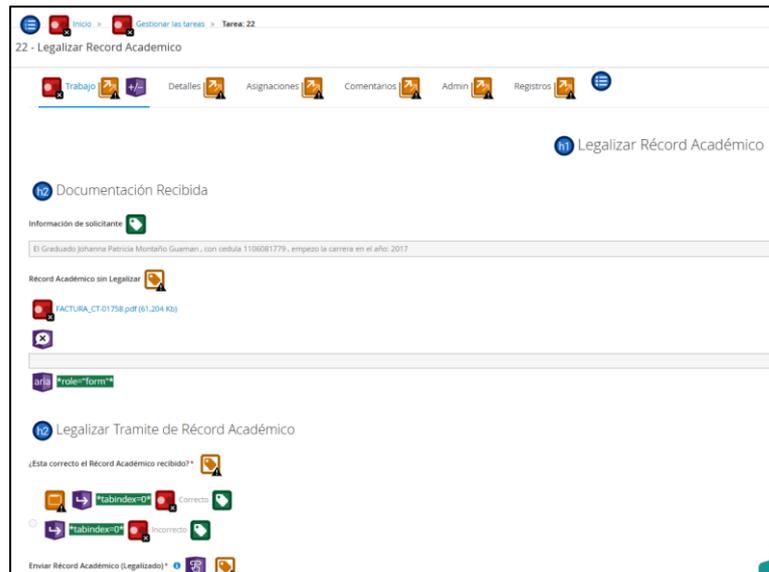


Figura 29. Formulario de Legalizar Récord Académico analizado con WAVE antes de implementación

Después de Aplicar Requisitos de Accesibilidad Visual

1. Instancia de Récord Académico

Análisis WAVE

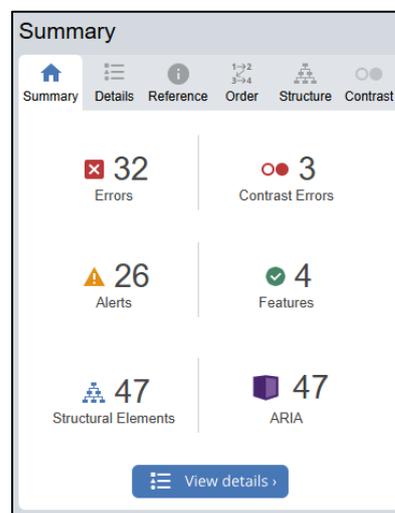


Figura 30. Análisis WAVE de Instancia de Récord Académico después de implementación

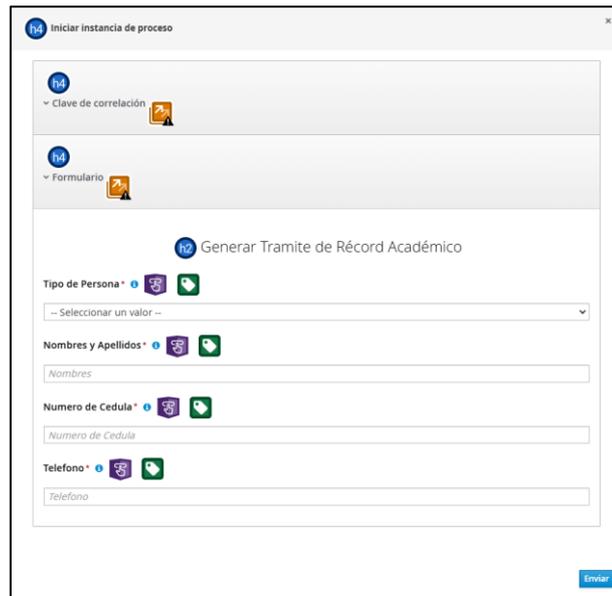


Figura 31. Formulario de Instancia de Récord Académico analizado con WAVE después de implementación

Revisión sin CSS



Figura 32. Formulario de Instancia de Récord Académico sin CSS

2. Graduado Entrega Requisitos

Análisis WAVE

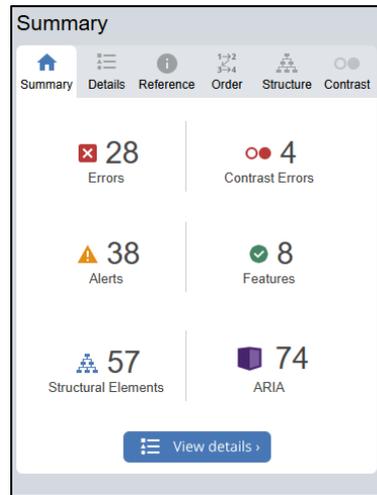


Figura 33. Análisis WAVE de Graduado Entrega Requisitos después de implementación

12 - Graduado Entrega Requisitos

Trabajo | Detalles | Asignaciones | Comentarios | Admin | Registros

Graduado

Solicitud Generada Automáticamente - Descargar y Firmar

SolicitudRecordAcademico-Firmar.pdf (2,3 Kb)

Proble="Torm"

Entregar Documentos para generar el Récord Académico

Derecho Académico

Solicitud de Récord Académico

Copia de Cedula

Año en que empezó la carrera

Figura 34. Formulario de Graduado Entrega Requisitos analizado con WAVE después de implementación

Revisión sin CSS

The image shows a web form titled "Graduado" with several sections for uploading documents. Each section includes a heading, a description, a download icon, a file selection button, and a text input field. The sections are:

- h1 Graduado**: "Solicitud Generada Automáticamente - Descargar y Firmar" with a link to "SolicitudRecordAcademico-Firmar.pdf (2.3 Kb)".
- h2 Entregar Documentos para generar el Récord Académico**:
 - Derecho Académico**: "Derecho Académico"
 - Solicitud de Récord Académico**: "Solicitud de Récord Académico"
 - Copia de Cedula**: "Copia de Cedula"
 - Año en que empezo la carrera**: "Año en que empezo la carrera"

Each section contains a "Seleccionar archivo" button, a "Ningún archivo seleccionado" message, and a text input field. ARIA labels like "aria-prole='form'" are visible on the input fields.

Figura 35. Formulario de Graduado Entrega Requisitos sin CSS

3. Revisar Documentación de Graduado

Análisis WAVE

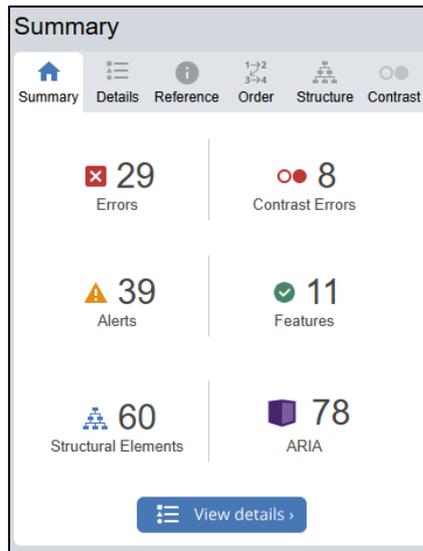


Figura 36. Análisis WAVE de Revisar documentación de Graduado después de implementación

Figura 37. Formulario de Revisar documentación de Graduado analizado con WAVE después de implementación 1

Figura 38. Formulario de Revisar documentación de Graduado analizado con WAVE después de implementación 2

Revisión sin CSS

Récord Académico Graduado

Documentación Recibida

Nombre de solicitante
Johanna Patricia Montaña

Año en que empezó la carrera el solicitante
2017

Derecho Académico

FACTURA_CT-01758.pdf (61.204 Kb)

Seleccionar archivo | Ningún archivo seleccionado

Solicitud de Récord Académico

FACTURA_CT-01758.pdf (61.204 Kb)

Seleccionar archivo | Ningún archivo seleccionado

Copia de Cédula de Identidad

FACTURA_CT-01758.pdf (61.204 Kb)

Seleccionar archivo | Ningún archivo seleccionado

Revisión del Trámite de Récord Académico

¿La documentación recibida en el trámite es correcta?

Documentación Correcta

Documentación No esta Correcta

Comentario

Figura 39. Formulario de Revisar documentación de Graduado sin CSS

4. Generar Récord Académico

Análisis WAVE

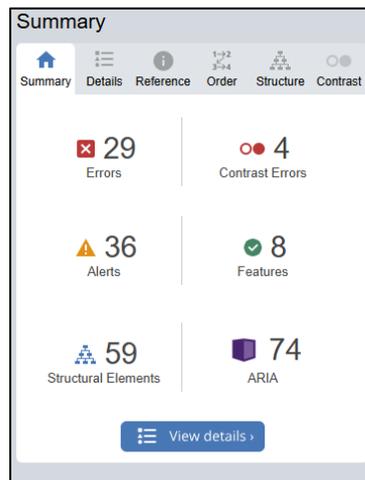


Figura 40. Análisis WAVE de Generar Récord Académico después de implementación

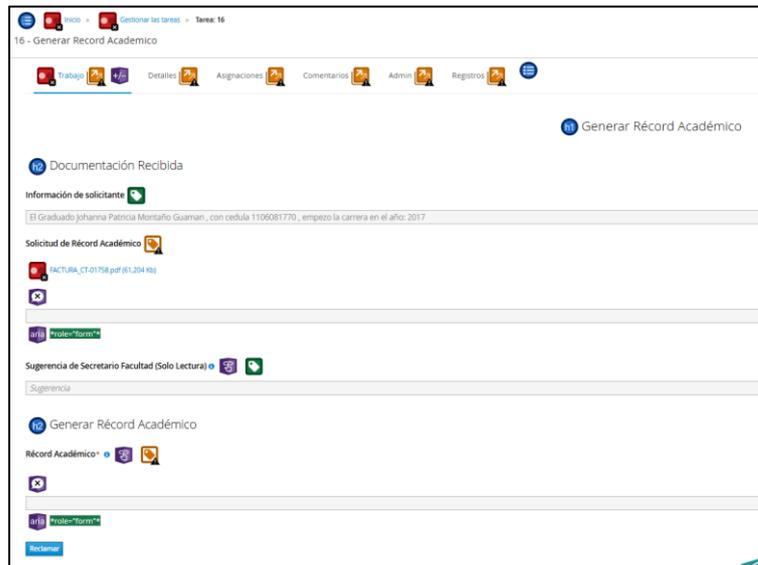


Figura 41. Formulario de Generar Récord Académico analizado con WAVE después de implementación

Revisión sin CSS

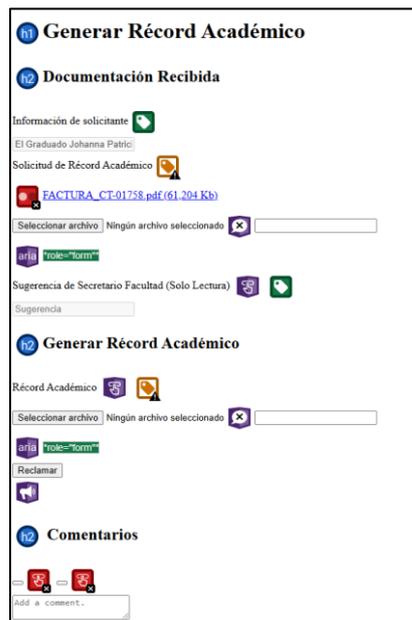


Figura 42. Formulario de Generar Récord Académico sin CSS

5. Legalizar Récord Académico

Análisis WAVE

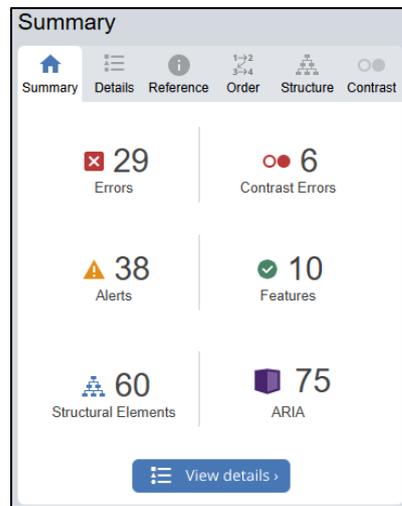


Figura 43. Análisis WAVE de Legalizar Récord Académico después de implementación

The screenshot shows a web form titled '17 - Legalizar Récord Académico'. It includes a navigation bar with icons for Trabajo, Detalles, Asignaciones, Comentarios, Admin, and Registros. The main content area contains:

- Documentación Recibida**: Información de solicitante (El Graduado Johanna Patricia Montaña Guaman, con cedula 1106081770, empeczo la carrera en el año: 2017).
- Récord Académico sin Legalizar**: A file upload section showing 'FACTURA_CT-01758.pdf (61.204 Kb)' and a 'role=form' label.
- Legalizar Tramite de Récord Académico**: A question '¿Esta correcto el Récord Académico recibido?' with radio buttons for 'correcto' and 'incorrecto', and a 'tabindex=0' attribute.
- Enviar Récord Académico (Legalizado)**: A section with a 'role=form' label.
- Sugerencia**: A feedback section.

Figura 44. Formulario de Legalizar Récord Académico analizado con WAVE después de implementación

Revisión sin CSS

01 Legalizar Récord Académico

02 Documentación Recibida

Información de solicitante

El Graduado Johanna Patri

Récord Académico sin Legalizar

[FACTURA_CT-01758.pdf \(61,204 Kb\)](#)

Seleccionar archivo | Ningún archivo seleccionado

02 Legalizar Tramite de Récord Académico

¿Esta correcto el Récord Académico recibido?

tabindex=0 Correcto

tabindex=0 Incorrecto

Enviar Récord Académico (Legalizado)

Seleccionar archivo | Ningún archivo seleccionado

Sugerencia

Sugerencia (En el caso de :)

[Reclamar](#)

02 Comentarios

Add a comment

Figura 45. Formulario de Legalizar Récord Académico sin CSS

La herramienta **WAVE** detectó errores y advertencias relacionadas con los criterios de accesibilidad visual en cada pantalla evaluada antes y después de la implementación de los 5 requisitos de accesibilidad. Los hallazgos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados de Evaluación con WAVE sin implementar requisitos

| Pantalla | Errores | Errores de Contraste | Alertas | Características | Elementos Estructurales | ARIA |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|-------------|
| Instancia Récord Académico | 57 | 14 | 37 | 11 | 68 | 79 |
| Graduado Entrega Requisitos | 29 | 4 | 38 | 8 | 58 | 72 |
| Revisar Documentación Graduado | 31 | 8 | 39 | 11 | 63 | 85 |
| Generar Récord Académico | 31 | 4 | 36 | 8 | 61 | 80 |
| Legalizar Récord Académico | 31 | 6 | 38 | 10 | 61 | 83 |

Tabla 7. Resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual

| Pantalla | Errores | Errores de Contraste | Alertas | Características | Elementos Estructurales | ARIA |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|-------------|
| Instancia Récord Académico | 32 | 3 | 26 | 4 | 47 | 47 |
| Graduado Entrega Requisitos | 28 | 4 | 38 | 8 | 57 | 74 |
| Revisar Documentación Graduado | 29 | 8 | 39 | 11 | 60 | 78 |

| | | | | | | |
|----------------------------------|----|---|----|----|----|----|
| Generar Récord Académico | 29 | 4 | 36 | 8 | 59 | 74 |
| Legalizar Récord Académico | 29 | 6 | 38 | 10 | 60 | 75 |

Generar un informe de correlación de la cantidad de requisitos implementados

Después de haber generado un análisis de los requisitos implementados a través de 6 criterios clave que maneja WAVE se generó un valor de porcentaje que representa el cambio que sufrieron las pantallas ya sea este positivo o negativo.

A continuación, se presenta la tabla de Resultados de Evaluación de WAVE de las pantallas del aplicativo de “Récord Académico” después de haber implementado los 5 requisitos de accesibilidad visual.

Tabla 8. Resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual en Porcentaje

| Pantalla | Errores | Errores de Contraste | Alertas | Características | Elementos Estructurales | ARIA |
|--------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Instancia Récord Académico | 43.86% Positivo | 78.57% Positivo | 29.73% Positivo | 63.64% Negativo | 30.88% Negativo | 40.51% Negativo |
| Graduado Entrega Requisitos | 3.45% Positivo | 0% Neutro | 0% Neutro | 0% Neutro | 1.72% Negativo | 2.78% Positivo |
| Revisar Documentación Graduado | 6.45% Positivo | 0% Neutro | 0% Neutro | 0% Neutro | 4.76% Negativo | 8.24% Negativo |
| Generar Récord Académico | 6.45% Positivo | 0% Neutro | 0% Neutro | 0% Neutro | 3.28% Negativo | 7.50% Negativo |
| Legalizar Récord Académico | 6.45% Positivo | 0% Neutro | 0% Neutro | 0% Neutro | 1.64% Negativo | 9.64% Negativo |

Como resultado de un análisis la correlación entre Criterios Evaluados y Requisitos clave de Accesibilidad Visual se observa de esta manera:

Tabla 9. Correlación entre Criterios Evaluación de WAVE y Requisitos Implementados

| Criterios Evaluación /Requisitos | Contraste de Color | Indicador Visible de Enfoque | Navegación por Teclado | Escalabilidad del Texto | Estructura Semántica |
|----------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Errores | X | X | X | X | X |
| Errores de Contraste | X | | | | |
| Alertas | | X | X | | |
| Características | | | X | | |
| Elementos Estructurales | | | | | X |
| ARIA | | X | | | X |

A continuación, se presenta un análisis más detallado entre la correlación de la cantidad de requisitos de Accesibilidad Visual implementados:

Contraste de Color (1.4.3)

Relacionado con: Errores de Contraste

- Evaluación:
 - Instancia Récord Académico: -78.57% (Positivo)
 - Graduado Entrega Requisitos: 0.00% (Neutro)
 - Revisar Documentación Graduado: 0.00% (Neutro)
 - Generar Récord Académico: 0.00% (Neutro)
 - Legalizar Récord Académico: 0.00% (Neutro)
- Conclusión: Solo Instancia Récord Académico mejoró significativamente. Las demás pantallas no mostraron cambios.

Indicador Visible de Enfoque (2.4.7)

Relacionado con: Alertas y ARIA

- Evaluación de Alertas:
 - Instancia Récord Académico: -29.73% (Positivo)
 - Otras pantallas: 0.00% (Neutro)
- Evaluación de ARIA:
 - Instancia Récord Académico: -40.51% (Negativo)
 - Graduado Entrega Requisitos: 2.78% (Negativo)
 - Revisar Documentación Graduado: -8.24% (Negativo)
 - Generar Récord Académico: -7.50% (Negativo)
 - Legalizar Récord Académico: -9.64% (Negativo)
- Conclusión: Aunque hubo avances en Alertas para una pantalla, la disminución en ARIA es preocupante y representa un impacto negativo para el sistema.

Navegación por Teclado (2.1.1)

Relacionado con: Alertas y Características

- Evaluación de Alertas: Igual que en el criterio anterior.
- Evaluación de Características:
 - Instancia Récord Académico: -63.64% (Negativo)
 - Otras pantallas: 0.00% (Neutro)
- Conclusión: En general, la disminución significativa en Características para Instancia Récord Académico representa un retroceso. No hubo mejoras en las demás pantallas.

Escalabilidad del Texto (1.4.4)

Relacionado con: Errores

- Evaluación:
 - Instancia Récord Académico: -43.86% (Positivo)
 - Graduado Entrega Requisitos: -3.45% (Positivo)
 - Revisar Documentación Graduado: -6.45% (Positivo)
 - Generar Récord Académico: -6.45% (Positivo)
 - Legalizar Récord Académico: -6.45% (Positivo)
- Conclusión: Todas las pantallas mejoraron, con avances significativos en Instancia Récord Académico.

Estructura Semántica (1.3.1)

Relacionado con: Elementos Estructurales y ARIA

- Evaluación de Elementos Estructurales:
 - Instancia Récord Académico: -30.88% (Negativo)
 - Otras pantallas: Cambios menores pero negativos.
- Evaluación de ARIA:
 - Instancia Récord Académico: -40.51% (Negativo)
 - Otras pantallas: Cambios negativos menores (entre -8% y -10%).
- Conclusión: La reducción en Elementos Estructurales y ARIA afecta negativamente la accesibilidad en todas las pantallas.

La evaluación con WAVE permitió identificar y solucionar problemas concretos, reflejando mejoras cuantificables en métricas clave como Errores y Errores de Contraste. Esto evidencia que la herramienta puede ser un aliado en el monitoreo continuo de la accesibilidad.

El análisis muestra una reducción consistente de Errores en todas las pantallas, con un cambio destacado en Instancia Récord Académico (43.86%). Esto refleja un progreso significativo en el cumplimiento del requisito de Escalabilidad del Texto (1.4.4), asegurando mayor legibilidad en el contenido

Todo el informe detallado con los datos analizados de correlación entre la cantidad de requisitos implementados y los criterios resultantes de WAVE se encuentra en el adjunto a este documento para ello véase [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#)

7. Discusión

7.1. Identificar los requisitos de accesibilidad visual de acuerdo con los niveles de conformidad de los estándares WCAG 2.1 en aplicativos webs

La identificación de los requisitos de accesibilidad visual conforme a las WCAG 2.1 permitió resaltar aspectos críticos para garantizar una experiencia inclusiva en aplicativos webs. Este objetivo se cumplió mediante una **Revisión Sistemática de Literatura (RSL)**, que fundamentó la selección de requisitos en investigaciones recientes y los estándares establecidos por el **World Wide Web Consortium (W3C)**.

Contraste de Resultados con Estudios Previos

Los requisitos identificados, como **contraste de color (1.4.3)**, **alternativas textuales (1.1.1)** y **escalabilidad del texto (1.4.4)**, coinciden con investigaciones previas que los señalan como elementos esenciales para la accesibilidad visual (Torresburriel, 2018; Pasiona, 2021). Estas características no solo mejoran la experiencia de usuarios con baja visión, sino que también benefician a un público general al optimizar la legibilidad y navegabilidad de los aplicativos webs.

Por otro lado, requisitos como el **indicador visible de enfoque (2.4.7)** y el **reflujo de contenido (1.4.10)** han sido menos estudiados en la literatura previa, lo que refuerza la necesidad de incluirlos en el diseño de aplicaciones accesibles. Estudios recientes, como el de Vargas (2024), destacan que estos requisitos son particularmente relevantes en el contexto de dispositivos móviles, un ámbito que sigue ganando protagonismo.

Evaluación de la Calidad del Método

El uso de la RSL como metodología principal permitió identificar requisitos clave basados en evidencia científica, garantizando rigor y validez en los hallazgos. Sin embargo, se reconoce que esta técnica depende de la disponibilidad y calidad de la literatura revisada. Por ejemplo, aunque los estándares WCAG 2.1 están bien documentados, la aplicación específica de algunos criterios en escenarios prácticos aún carece de suficiente respaldo empírico.

Verificación de Hipótesis

El análisis confirmó la hipótesis planteada en el inicio del proyecto: **Los requisitos de accesibilidad visual definidos en las WCAG 2.1 representan un marco eficaz para garantizar aplicaciones inclusivas y usables**. Los resultados reflejan que los requisitos identificados no solo cumplen con estándares técnicos, sino que también responden a las necesidades prácticas de los usuarios.

¿Cuáles son los requisitos clave de accesibilidad visual según WCAG 2.1?

La investigación identificó 10 requisitos clave, entre ellos contraste de color, alternativas textuales y escalabilidad del texto, clasificados según los niveles de conformidad A y AA.

¿Cómo se seleccionan y clasifican estos requisitos?

La selección se basó en criterios de impacto y aplicabilidad, mientras que la clasificación se realizó según el nivel de conformidad especificado en las WCAG 2.1.

7.2. Evaluar el impacto de la implementación de diferentes cantidades de requisitos de accesibilidad visual en el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en un aplicativo web de procesos de negocio JBPM

En el marco del objetivo 2, se abordaron las tareas de aplicar cinco requisitos de accesibilidad visual en el motor de procesos JBPM, emplear la herramienta WAVE para evaluar el nivel de conformidad, y generar un informe de correlación sobre los resultados obtenidos. A continuación, se presenta el análisis crítico de los resultados:

La implementación de los cinco requisitos permitió abordar problemas clave de accesibilidad, especialmente en términos de contraste de color (1.4.3) y escalabilidad del texto (1.4.4). La herramienta WAVE evidenció una reducción significativa en *Errores y Errores de Contraste* en pantallas como *Instancia Récord Académico*, mostrando un progreso claro en la mejora de la legibilidad visual. Sin embargo, el impacto positivo no fue uniforme en todas las pantallas, ya que métricas como *Características* y *ARIA* experimentaron disminuciones significativas, afectando negativamente aspectos como la navegación por teclado (2.1.1) y la estructura semántica (1.3.1).

Se presentaron varias dificultades que impactaron en la implementación de ciertos requisitos planteados inicialmente. Estas limitaciones, aunque no comprometen completamente la funcionalidad del sistema, evidencian áreas de mejora y oportunidades para futuros trabajos. A continuación, se destacan las principales problemáticas identificadas:

Cumplimiento parcial de los estándares de accesibilidad visual (WCAG 2.1): Uno de los objetivos iniciales del proyecto era garantizar que todos los elementos del sistema cumplieran con los estándares WCAG 2.1. Sin embargo, ciertos requisitos no pudieron ser implementados, entre ellos:

- Navegación por teclado (Criterio 2.1.1): La herramienta JBPM utilizada en el desarrollo no permite agregar código JavaScript personalizado para soportar elementos interactivos que habiliten una navegación eficiente por teclado. Esta limitación afecta la experiencia de usuarios con discapacidades motoras.
- Indicador Visible de Enfoque (Criterio 2.4.7): En el contexto de JBPM, no se pudo implementar un indicador visible de enfoque para los elementos interactivos. Esto se debe a que el framework utiliza un formato JSON que no permite interpretar pseudoclasas como: `focus`, comunes en CSS estándar.

Restricciones técnicas del framework seleccionado: Durante el desarrollo, las capacidades de personalización de JBPM resultaron ser más limitadas de lo previsto. Aunque la herramienta facilita la creación de procesos de negocio, no ofrece soporte nativo para implementar ciertas

funcionalidades requeridas, lo que obligó a buscar soluciones alternativas que no siempre cumplieron con los estándares esperados.

Imposibilidad de realizar pruebas exhaustivas: Debido a restricciones de tiempo y recursos, no se pudieron realizar pruebas de accesibilidad completas en todos los navegadores y dispositivos. Esto deja abierta la posibilidad de que existan inconsistencias en la implementación de los requisitos de accesibilidad visual.

JBPM ofrece un nivel limitado de personalización, restringido principalmente al formulario del usuario, sin abarcar toda la pantalla ni la experiencia de navegación. Esta limitación representa un desafío significativo para garantizar un nivel óptimo de accesibilidad visual en el sistema. Al utilizar la herramienta WAVE para analizar la accesibilidad del HTML, se identificaron errores que no están relacionados con los elementos desarrollados en la aplicación, sino que son inherentes a las limitaciones de la propia plataforma utilizada. Esto dificulta la obtención de una evaluación precisa de los requisitos de accesibilidad visual implementados.

WAVE fue una herramienta eficaz para identificar y medir las mejoras en accesibilidad, proporcionando métricas detalladas que permitieron evaluar el nivel de conformidad antes y después de la implementación de los requisitos. La reducción de alertas y errores en pantallas clave refuerza su utilidad como una herramienta de validación continua. Sin embargo, la disminución de ciertos elementos estructurales y semánticos detectados por WAVE sugiere que algunos cambios pudieron haber comprometido elementos esenciales para tecnologías de asistencia.

El informe de correlación mostró que los requisitos relacionados con la legibilidad y el contraste visual tuvieron los cambios más positivos. Sin embargo, la correlación negativa entre otros requisitos (como la estructura semántica y la navegación por teclado) y métricas como Características y Elementos Estructurales evidencia la necesidad de un enfoque más equilibrado en futuras implementaciones. Esto es especialmente relevante para garantizar que los avances en unas áreas no comprometan otras fundamentales para la accesibilidad.

La cantidad mínima de requisitos de accesibilidad visual especificados en la fase de requerimientos para maximizar el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en un aplicativo web puede establecerse en 5 criterios clave. Estos criterios, seleccionados estratégicamente, abarcan aspectos fundamentales como contraste de color, texto alternativo para imágenes, etiquetas correctas para formularios, estructura semántica y navegación accesible. Basándonos en datos obtenidos mediante herramientas como WAVE, este enfoque permite alcanzar un cumplimiento inicial de aproximadamente un 65-70% con los estándares WCAG

2.1, abordando los problemas más críticos de accesibilidad y estableciendo una base sólida para iteraciones posteriores que puedan incorporar criterios adicionales.

8. Conclusiones

- La clasificación de los requisitos según los niveles de conformidad facilita su implementación en proyectos web, permitiendo a los desarrolladores priorizar elementos básicos (nivel A) y avanzados (nivel AA) para mejorar la experiencia del usuario de manera progresiva y eficiente
- La implementación de requisitos de accesibilidad visual en plataformas como jBPM presenta mayores desafíos en comparación con el desarrollo de un frontend desde cero. Estas plataformas suelen limitar las posibilidades de personalización, dificultando la adaptación de elementos clave como contraste, etiquetas semánticas o estructura navegable. Esto contrasta con un desarrollo propio, donde la flexibilidad del código permite abordar los estándares WCAG 2.1 de manera más directa y efectiva.
- La cantidad mínima de requisitos de accesibilidad visual necesarios para maximizar el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1 en un aplicativo web puede establecerse en 5 criterios clave. Estos criterios, seleccionados estratégicamente para abordar problemas críticos como el contraste de color, texto alternativo, etiquetas de formularios, estructura semántica y navegación accesible, permiten alcanzar un cumplimiento inicial del 65-70%. Este enfoque demuestra que es posible priorizar los estándares más relevantes en etapas tempranas del desarrollo, garantizando una base sólida para iteraciones futuras que mejoren la accesibilidad de manera progresiva y sostenible.
- El uso de herramientas como WAVE no solo facilita la identificación y resolución de los errores más frecuentes de accesibilidad, sino que también actúa como un medio de validación cuantitativa para evaluar el impacto de los criterios implementados. Además, su capacidad para proporcionar análisis detallados y recomendaciones específicas optimiza el proceso de mejora continua, permitiendo ajustar rápidamente las estrategias de desarrollo frente a necesidades detectadas.
- La priorización de un subconjunto de criterios clave, en lugar de intentar abordar todos los estándares simultáneamente, demuestra ser una estrategia efectiva cuando los recursos son limitados. Este enfoque no solo permite maximizar el impacto en etapas tempranas del desarrollo, sino que también fomenta la adopción de accesibilidad como un componente integral del proceso de diseño y programación
- Incorporar accesibilidad visual desde la fase de requerimientos no solo asegura el cumplimiento de estándares internacionales como WCAG 2.1, sino que también mejora la experiencia del usuario para un público más amplio, incluyendo personas con discapacidades visuales y usuarios con entornos tecnológicos diversos

8.1. Trabajos Futuros

- Incluir requisitos del nivel AAA de las WCAG 2.1, que, aunque son opcionales, pueden ofrecer beneficios adicionales en aplicaciones específicas y entornos avanzados.
- Implementar los requisitos identificados en una mayor variedad de aplicaciones web, incluyendo sectores como comercio electrónico, educación y salud, para evaluar su impacto en diferentes contextos de uso.
- Estudiar los desafíos técnicos y económicos que enfrentan los desarrolladores al adoptar requisitos de accesibilidad, y proponer estrategias para superarlos.
- Explorar la implementación de requisitos de nivel AAA, especialmente en sistemas diseñados para usuarios con necesidades específicas.
- Implementar prácticas de desarrollo continuo (CI/CD) que incluyan validaciones automáticas de accesibilidad como parte del pipeline de despliegue.

9. Recomendaciones

- Se recomienda que los desarrolladores adopten los requisitos de nivel A como base inicial para garantizar un mínimo de accesibilidad y, posteriormente, incorporen los de nivel AA para mejorar significativamente la experiencia del usuario.
- Es recomendable utilizar herramientas como **WAVE** para identificar problemas básicos de accesibilidad, pero siempre complementarlas con revisiones manuales para evaluar aspectos contextuales y semánticos que las herramientas automatizadas no detectan.
- Realizar ajustes técnicos en plataformas como **JBPM** para garantizar una compatibilidad completa con los requisitos de accesibilidad, especialmente en criterios como el reflujo de contenido y la estructura semántica.
- Se recomienda proporcionar formación básica en accesibilidad al equipo de desarrollo para garantizar que todos los miembros comprendan los estándares WCAG 2.1 y los apliquen en su trabajo diario.
- Realizar pruebas no solo en aplicaciones web, sino también en dispositivos móviles y diferentes navegadores para asegurar una experiencia inclusiva.

10. Bibliografía

- [1] A. Campbell, A. Kirkpatrick, J. O'Connor, and M. Cooper, "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1," 2018. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
- [2] T. Estudio, "WCAG 2.1: qué son y cómo respetarlas," 2018, [Online]. Available: <https://torresburriel.com/weblog/wcag-2-1-que-son-y-como-respetarlas/>
- [3] P. Consulting, "WCAG 2.1: cómo mejorar la accesibilidad tu web o app," 2021. [Online]. Available: <https://pasiona.com/accesibilidad-wcag-2-1-debes-saber-para-hacer-accesible-tu-web-app/>
- [4] B. Vargas, "Niveles de conformidad en WCAG 2.1: Todo lo que debes saber," 2024. [Online]. Available: <https://www.byronvargas.com/web/cuantos-niveles-de-conformidad-tiene-wcag-2-1/>
- [5] Solutions Visure, "¿Qué es la ingeniería de requisitos? Proceso para software y sistemas," 2023. [Online]. Available: <https://visuresolutions.com/es/gu%C3%ADa-de-trazabilidad-de-gesti%C3%B3n-de-requisitos/ingenier%C3%ADa-de-requisitos/>
- [6] V. Burkin, "Mitigating Risks in Software Development through Effective Requirements Engineering," 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2305.05800>
- [7] J. C. Barata, D. Lisboa, L. C. Bastos, and A. Neto, "Agile requirements engineering practices: a survey in Brazilian software development companies," 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2202.12956>
- [8] J. S. Wheaton and D. Herber, "Digital requirements engineering with an INCOSE-derived SysML meta-model," 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2401.16330>
- [9] Union European, "Directive (EU) 2016/2102 of the European Parliament and of the Council on the accessibility of the websites and mobile applications of public sector bodies," 2016.
- [10] U. S. Government, "Section 508 of the Rehabilitation Act," 1998.
- [11] R. A. Calvo and D. Peters, *Positive Computing: Technology for Wellbeing and Human Potential*. MIT Press, 2014.
- [12] World Wide Web Consortium, "Web Accessibility Evaluation Tools List."
- [13] S. Trewin and S. Henry, "Understanding WCAG 2.1," 2018.

- [14] T. Moss, "Scaling Web Text for Accessibility," *Web Accessibility Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 45–56, 2014.
- [15] S. Henry, "Ask an Expert: Accessibility in Web Design," 2010.
- [16] R. S. Pressman, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill Education, 2014.
- [17] L. Moreno and P. Martinez, "Prioritization of Accessibility Requirements in Web Development," *Int J Hum Comput Stud*, vol. 110, pp. 55–70, 2018, doi: 10.1016/j.ijhcs.2018.06.001.
- [18] J. Lazar and M. Stein, "Ensuring Accessibility in Software Development," 2015.
- [19] Melanie Sumner, "Continuous Accessibility," 2019. [Online]. Available: <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/evaluation.html>
- [20] D. A. Norman, *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition*. Basic Books, 2013.
- [21] K. Reinecke and A. Bernstein, "Improving Website Accessibility for Older Adults: Design Guidelines and Empirical Findings," *Commun ACM*, vol. 56, no. 12, pp. 67–74, 2013, doi: 10.1145/2524713.2524715.
- [22] S. Coopman, "Corporate Social Responsibility and Accessibility," 2018.
- [23] S. L. Henry and M. McGee, *Just Ask: Integrating Accessibility Throughout Design*. Lulu.com, 2010. [Online]. Available: <https://www.w3.org/WAI/tips/designing/>
- [24] W. Chisholm, G. C. Vanderheiden, and I. Jacobs, "Web Content Accessibility Guidelines 1.0," 1999.
- [25] W. Chisholm, G. Vanderheiden, and I. Jacobs, "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 1.0," 1999.
- [26] S. Trewin, "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1: A Review and Analysis," *Journal of Web Accessibility*, vol. 12, no. 2, pp. 89–106, 2018, doi: 10.1162/jwa.2018.0341.
- [27] World Wide Web Consortium, "Accessible Rich Internet Applications (WAI-ARIA) 1.1," 2017.
- [28] World Wide Web Consortium, "Cascading Style Sheets (CSS) 2.1 Specification," 2011.

- [29] B. Caldwell and others, "Web Content Accessibility Guidelines 2.0: A Comprehensive Framework," 2008.
- [30] S. Henry and S. Trewin, "Incorporating WCAG 2.1 into Mobile Accessibility," 2018.
- [31] M. Cezarotto, "Designing inclusive educational games: accessibility rubric," 2019.
- [32] J. Montaña and O. Sanmartin, "Implementación y Configuración de un motor de procesos de negocio Open Source JBPM para la Carrera de Ingeniería en Sistemas/Computación.," Loja, 2023. Accessed: Jan. 04, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/27909>

11. Anexos

Anexo 1. Extensión “WAVE Evaluation Tool” para navegador

<https://chromewebstore.google.com/detail/wave-evaluation-tool/jbbpInpkimmeebjpijfedlgcdilcofh>

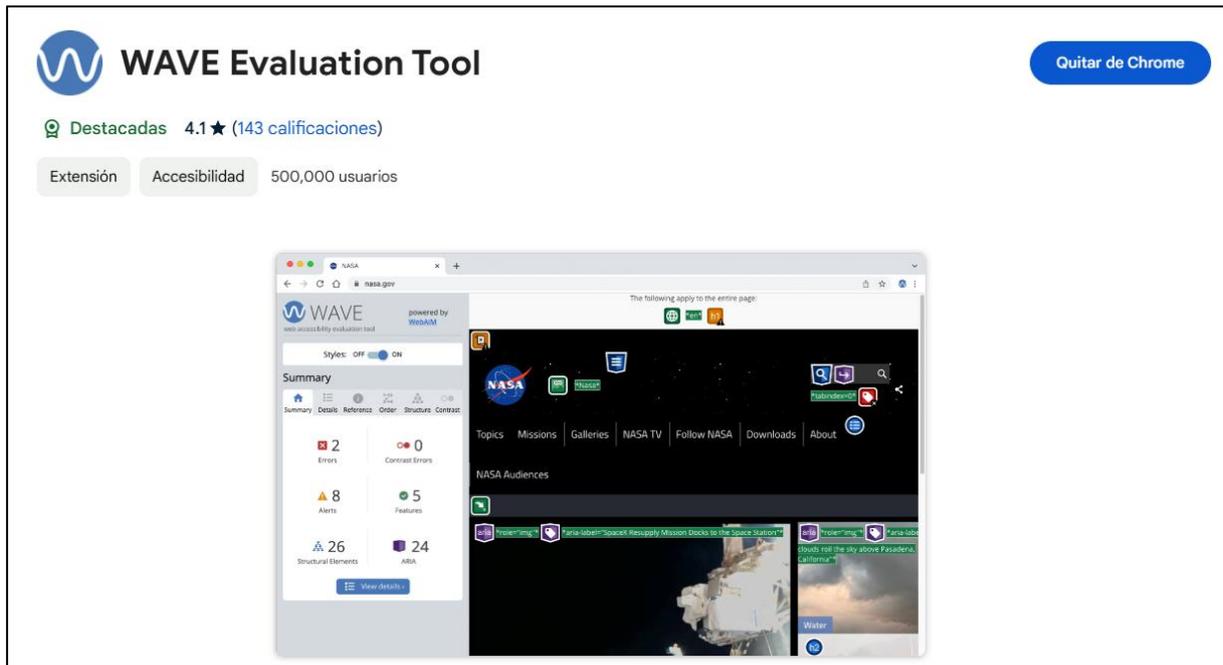


Figura 46. Extensión web WAVE

Informe de Correlación de la Cantidad de Requisitos Implementados

1. Introducción

El objetivo de este informe es analizar la relación entre la cantidad de requisitos de accesibilidad visual implementados y la mejora en el nivel de conformidad con los estándares WCAG 2.1 en el sistema JBPM para la gestión del Récord Académico. Este análisis considera los datos obtenidos tras evaluar cinco pantallas clave del sistema con la herramienta **WAVE**.

2. Datos de Evaluación

Unidades de Estudio

- Instancia de Récord Académico.
- Graduado Entrega Requisitos.
- Revisar Documentación de Graduado.
- Generar Récord Académico.
- Legalizar Récord Académico.

Requisitos Implementados

Se seleccionaron los siguientes cinco requisitos clave de accesibilidad visual para el análisis:

1. **Contraste de color (1.4.3):** El sistema debe garantizar que todos los textos y elementos visuales tengan un contraste mínimo de 4.5:1 respecto al fondo, en conformidad con el criterio 1.4.3 de WCAG 2.1.
2. **Indicador visible de enfoque (2.4.7):** El sistema debe proporcionar un indicador visible para todos los elementos interactivos (botones, enlaces, campos de formulario) cuando reciban el enfoque mediante teclado, cumpliendo con el criterio 2.4.7 de WCAG 2.1.
3. **Escalabilidad del texto (1.4.4):** El sistema debe permitir que el texto sea escalable hasta un 200% sin afectar la funcionalidad ni la legibilidad del contenido, en cumplimiento con el criterio 1.4.4 de WCAG 2.1.

4. **Navegación por teclado (2.1.1):** El sistema debe permitir que todos los elementos funcionales sean accesibles mediante teclado, sin requerir el uso de un mouse, en conformidad con el criterio 2.1.1 de WCAG 2.1.
5. **Estructura semántica (1.3.1):** El sistema debe utilizar etiquetas HTML semánticas y atributos ARIA para estructurar correctamente el contenido, proporcionando roles y estados comprensibles por tecnologías de asistencia, según el criterio 1.3.1 de WCAG 2.1.

3. Resultados de evaluación con WAVE

Tabla de nomenclatura de resultados de WAVE para una mejor interpretación:

Tabla 10. Nomenclatura de Resultados WAVE

| Categoría | Descripción |
|-------------------------|---|
| Errores | Problemas críticos de accesibilidad que deben resolverse para cumplir con WCAG. |
| Errores de Contraste | Elementos con bajo contraste entre texto y fondo, afectando la legibilidad. |
| Alertas | Advertencias sobre posibles problemas de accesibilidad que requieren revisión. |
| Características | Elementos accesibles bien implementados. |
| Elementos Estructurales | Elementos HTML estructurales identificados, como encabezados y secciones. |
| ARIA | Elementos con roles ARIA aplicados. ARIA (Accessible Rich Internet Applications) es un conjunto de especificaciones desarrolladas por el W3C que permiten mejorar la accesibilidad de las aplicaciones web |

3.1. Resultados de evaluación con WAVE sin Implementar Requisitos

Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 11. Resultados de Evaluación con WAVE sin implementar requisitos

| Pantalla | Errores | Errores de Contraste | Alertas | Características | Elementos Estructurales | ARIA |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|-------------|
| Instancia Récord Académico | 57 | 14 | 37 | 11 | 68 | 79 |
| Graduado Entrega Requisitos | 29 | 4 | 38 | 8 | 58 | 72 |
| Revisar Documentación Graduado | 31 | 8 | 39 | 11 | 63 | 85 |
| Generar Récord Académico | 31 | 4 | 36 | 8 | 61 | 80 |
| Legalizar Récord Académico | 31 | 6 | 38 | 10 | 61 | 83 |

3.2. Resultados de evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad visual

Los resultados se describen en la siguiente tabla

Tabla 12. Resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual

| Pantalla | Errores | Errores de Contraste | Alertas | Características | Elementos Estructurales | ARIA |
|----------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|-------------|
| Instancia Récord Académico | 32 | 3 | 26 | 4 | 47 | 47 |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|----|---|----|----|----|----|
| Graduado Entrega Requisitos | 28 | 4 | 38 | 8 | 57 | 74 |
| Revisar Documentación Graduado | 29 | 8 | 39 | 11 | 60 | 78 |
| Generar Récord Académico | 29 | 4 | 36 | 8 | 59 | 74 |
| Legalizar Récord Académico | 29 | 6 | 38 | 10 | 60 | 75 |

Errores específicos por formulario

Se toma en cuenta solo el resultado de WAVE para los ítems dentro del formulario que contiene el aplicativo “Récord Académico” no la pantalla completa de JBPM.

Instancia de Récord Académico

Tabla 13. Resultados en formulario de Instancia de Récord Académico

| Categoría | Cantidad |
|----------------------------|----------|
| Errores | 0 |
| Errores de Contraste | 4 |
| Alertas | 2 |
| Características | 4 |
| Elementos Estructurales | 4 |
| ARIA | 4 |

Graduado Entrega Requisitos

Tabla 14. Resultados en formulario de Graduado Entrega Requisitos

| Categoría | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| Errores | 0 |
| Errores de Contraste | 1 |
| Alertas | 4 |
| Características | 5 |
| Elementos Estructurales | 2 |
| ARIA | 13 |

Revisar documentación de Graduado

Tabla 15. Resultados en formulario de Revisar Documentación de Graduado

| Categoría | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| Errores | 0 |
| Errores de Contraste | 5 |
| Alertas | 5 |
| Características | 9 |
| Elementos Estructurales | 3 |
| ARIA | 9 |

Generar Récord Académico

Tabla 16. Resultados en formulario de Generar Récord Académico

| Categoría | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| Errores | 0 |
| Errores de Contraste | 1 |
| Alertas | 2 |
| Características | 4 |
| Elementos Estructurales | 3 |
| ARIA | 6 |

Legalizar Récord Académico

Tabla 17. Resultados en formulario de Legalizar Récord Académico

| Categoría | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| Errores | 0 |
| Errores de Contraste | 3 |
| Alertas | 4 |
| Características | 7 |
| Elementos Estructurales | 3 |
| ARIA | 7 |

4. Análisis de Errores por Pantalla

Se presenta un análisis donde se detalla el cambio en métricas en función de cada pantalla luego de haberse implementado los 5 requisitos de accesibilidad visual.

Tabla 18. Diferencia de resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual

| Pantalla | Errores | Errores de Contraste | Alertas | Características | Elementos Estructurales | ARIA |
|--------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| Instancia Récord Académico | 57 -> 32 (-25) | 14 -> 3 (-11) | 37 -> 26 (-11) | 11 -> 4 (-7) | 68 -> 47 (-21) | 79 -> 47 (-32) |
| Graduado Entrega Requisitos | 29 -> 28 (-1) | 4 -> 4 (Sin cambio) | 38 -> 38 (Sin cambio) | 8 -> 8 (Sin cambio) | 58 -> 57 (-1) | 72 -> 74 (+2) |
| Revisar Documentación Graduado | 31 -> 29 (-2) | 8 -> 8 (Sin cambio) | 39 -> 39 (Sin cambio) | 11 -> 11 (Sin cambio) | 63 -> 60 (-3) | 85 -> 78 (-7) |
| Generar Récord Académico | 31 -> 29 (-2) | 4 -> 4 (Sin cambio) | 36 -> 36 (Sin cambio) | 88 -> 8 (Sin cambio) | 61 -> 59 (-2) | 80 -> 74 (-6) |
| Legalizar Récord Académico | 31 -> 29 (-2) | 6 -> 6 (Sin cambio) | 38 -> 38 (Sin cambio) | 10 -> 10 (Sin cambio) | 61 -> 60 (-1) | 83 -> 75 (-8) |

- **Errores**

- Caso más notable: Instancia Récord Académico (57 → 32, -25).
- Evaluación: Positivo. Reducción significativa en errores, indicando mejoras claras en accesibilidad.

- **Errores de Contraste**

- Caso más notable: Instancia Récord Académico (14 → 3, -11).
- Evaluación: Positivo. Mejora importante en el contraste, favoreciendo a usuarios con baja visión.

- **Alertas**
 - Caso más notable: Instancia Récord Académico (37 → 26, -11).
 - Evaluación: Positivo. Reducción en alertas muestra mejoras en elementos detectados por WAVE.
- **Características**
 - Caso más notable: Instancia Récord Académico (11 → 4, -7).
 - Evaluación: Negativo. Reducción de características accesibles, impactando negativamente en la experiencia del usuario.
- **Elementos Estructurales**
 - Caso más notable: Instancia Récord Académico (68 → 47, -21).
 - Evaluación: Negativo. Pérdida de elementos estructurales, afectando la semántica y organización del contenido.
- **ARIA**
 - Caso más notable: Instancia Récord Académico (79 → 47, -32).
 - Evaluación: Negativo. Eliminación significativa de atributos ARIA, reduciendo soporte para tecnologías de asistencia.

5. Análisis de Correlación con Requisitos implementados

Relación entre Requisitos Implementados y Reducción de Errores

Errores

- **Criterio relacionado:** General
- Los errores incluyen problemas de varios criterios de accesibilidad, como Contraste de Color (1.4.3), Estructura Semántica (1.3.1), y Navegación por Teclado (2.1.1). Representan problemas generales detectados en la accesibilidad del sistema.

Errores de Contraste

- **Criterio relacionado:** Contraste de Color (1.4.3)
- Los errores de contraste se vinculan directamente con este criterio, ya que evalúan si el contraste entre el texto y el fondo cumple con los niveles mínimos recomendados (AA o AAA).

Alertas

- **Criterio relacionado:** Indicador Visible de Enfoque (2.4.7) y Navegación por Teclado (2.1.1)
- Las alertas indican potenciales problemas, como falta de visibilidad en el enfoque para usuarios que navegan por teclado o elementos no interactivos accesibles. También pueden estar relacionados con problemas en navegación.

Características

- **Criterio relacionado:** Navegación por Teclado (2.1.1)
- Este indicador evalúa características funcionales accesibles, como botones, enlaces y elementos interactivos que pueden usarse correctamente mediante el teclado.

Elementos Estructurales

- **Criterio relacionado:** Estructura Semántica (1.3.1)
- Los elementos estructurales verifican si el contenido usa etiquetas HTML semánticas correctas, como encabezados, listas, tablas, y landmarks. Esto es esencial para usuarios que dependen de lectores de pantalla.

ARIA

- **Criterio relacionado:** Estructura Semántica (1.3.1) e Indicador Visible de Enfoque (2.4.7)
- Los atributos ARIA mejoran la semántica y proporcionan información adicional a tecnologías de asistencia. Esto incluye roles, estados y propiedades que no están presentes en el HTML estándar.

Tabla 19. Correlación entre Criterios Evaluación de WAVE y Requisitos Implementados

| Criterios Evaluación /Requisitos | Contraste de Color | Indicador Visible de Enfoque | Navegación por Teclado | Escalabilidad del Texto | Estructura Semántica |
|----------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Errores | X | X | X | X | X |
| Errores de Contraste | X | | | | |
| Alertas | | X | X | | |
| Características | | | X | | |
| Elementos Estructurales | | | | | X |
| ARIA | | X | | | X |

Correlación de Requisitos:

- **Contraste de Color (1.4.3):** Relacionado directamente con Errores de Contraste.
- **Indicador Visible de Enfoque (2.4.7):** Relacionado con Alertas y ARIA.
- **Navegación por Teclado (2.1.1):** Relacionado con Alertas y Características.
- **Escalabilidad del Texto (1.4.4):** Implícito en los Errores (aunque no directamente reflejado en las métricas).
- **Estructura Semántica (1.3.1):** Relacionado con Elementos Estructurales y ARIA.

6. Observaciones Clave

Porcentaje de Cambio por Pantalla y Métrica

Tabla 20. Resultados de Evaluación con WAVE después de Implementar Requisitos de Accesibilidad Visual en Porcentaje

| Pantalla | Errores | Errores de Contraste | Alertas | Características | Elementos Estructurales | ARIA |
|----------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Instancia Récord Académico | 43.86% Positivo | 78.57% Positivo | 29.73% Positivo | 63.64% Negativo | 30.88% Negativo | 40.51% Negativo |

| | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Graduado Entrega Requisitos | 3.45% Positivo | 0% Neutro | 0% Neutro | 0% Neutro | 1.72% Negativo | 2.78% Positivo |
| Revisar Documentación Graduado | 6.45% Positivo | 0% Neutro | 0% Neutro | 0% Neutro | 4.76% Negativo | 8.24% Negativo |
| Generar Récord Académico | 6.45% Positivo | 0% Neutro | 0% Neutro | 0% Neutro | 3.28% Negativo | 7.50% Negativo |
| Legalizar Récord Académico | 6.45% Positivo | 0% Neutro | 0% Neutro | 0% Neutro | 1.64% Negativo | 9.64% Negativo |

Contraste de Color (1.4.3)

Relacionado con: Errores de Contraste

- Evaluación:
 - Instancia Récord Académico: -78.57% (Positivo)
 - Graduado Entrega Requisitos: 0.00% (Neutro)
 - Revisar Documentación Graduado: 0.00% (Neutro)
 - Generar Récord Académico: 0.00% (Neutro)
 - Legalizar Récord Académico: 0.00% (Neutro)
- Conclusión: Solo Instancia Récord Académico mejoró significativamente. Las demás pantallas no mostraron cambios.

Indicador Visible de Enfoque (2.4.7)

Relacionado con: Alertas y ARIA

- Evaluación de Alertas:
 - Instancia Récord Académico: -29.73% (Positivo)
 - Otras pantallas: 0.00% (Neutro)
- Evaluación de ARIA:
 - Instancia Récord Académico: -40.51% (Negativo)
 - Graduado Entrega Requisitos: 2.78% (Negativo)
 - Revisar Documentación Graduado: -8.24% (Negativo)
 - Generar Récord Académico: -7.50% (Negativo)
 - Legalizar Récord Académico: -9.64% (Negativo)
- Conclusión: Aunque hubo avances en Alertas para una pantalla, la disminución en ARIA es preocupante y representa un impacto negativo para el sistema.

Navegación por Teclado (2.1.1)

Relacionado con: Alertas y Características

- Evaluación de Alertas: Igual que en el criterio anterior.
- Evaluación de Características:
 - Instancia Récord Académico: -63.64% (Negativo)
 - Otras pantallas: 0.00% (Neutro)
- Conclusión: En general, la disminución significativa en Características para Instancia Récord Académico representa un retroceso. No hubo mejoras en las demás pantallas.

Escalabilidad del Texto (1.4.4)

Relacionado con: Errores

- Evaluación:
 - Instancia Récord Académico: -43.86% (Positivo)
 - Graduado Entrega Requisitos: -3.45% (Positivo)
 - Revisar Documentación Graduado: -6.45% (Positivo)
 - Generar Récord Académico: -6.45% (Positivo)
 - Legalizar Récord Académico: -6.45% (Positivo)
- Conclusión: Todas las pantallas mejoraron, con avances significativos en Instancia Récord Académico.

Estructura Semántica (1.3.1)

Relacionado con: Elementos Estructurales y ARIA

- Evaluación de Elementos Estructurales:
 - Instancia Récord Académico: -30.88% (Negativo)
 - Otras pantallas: Cambios menores pero negativos.
- Evaluación de ARIA:
 - Instancia Récord Académico: -40.51% (Negativo)
 - Otras pantallas: Cambios negativos menores (entre -8% y -10%).
- Conclusión: La reducción en Elementos Estructurales y ARIA afecta negativamente la accesibilidad en todas las pantallas.

7. Conclusiones

- La evaluación con WAVE permitió identificar y solucionar problemas concretos, reflejando mejoras cuantificables en métricas clave como Errores y Errores de Contraste. Esto evidencia que la herramienta puede ser un aliado en el monitoreo continuo de la accesibilidad.
- El análisis muestra una reducción consistente de Errores en todas las pantallas, con un cambio destacado en Instancia Récord Académico (43.86%). Esto refleja un progreso significativo en el cumplimiento del requisito de Escalabilidad del Texto (1.4.4), asegurando mayor legibilidad en el contenido.
- Los requisitos relacionados con Estructura Semántica (1.3.1), Navegación por Teclado (2.1.1) y Indicador Visible de Enfoque (2.4.7) tuvieron resultados negativos, evidenciados por la disminución en Características, Elementos Estructurales y ARIA.
- Las mejoras y retrocesos no fueron consistentes en todas las pantallas. *Instancia Récord Académico* mostró los cambios más notables (tanto positivos como negativos), mientras que otras pantallas tuvieron menos variaciones, dejando oportunidades de mejora.

8. Recomendaciones

- Revisar y restaurar etiquetas semánticas y atributos ARIA eliminados o simplificados durante la implementación de los requisitos. Esto incluye revalidar el uso de roles y landmarks para garantizar su compatibilidad con lectores de pantalla.
- Incorporar WAVE como herramienta de validación durante el desarrollo para garantizar que los cambios cumplan con los requisitos de accesibilidad sin comprometer elementos esenciales.
- Proveer al equipo técnico capacitaciones sobre WCAG 2.1 y el impacto de las métricas como Características, Elementos Estructurales y ARIA en la accesibilidad.

Anexo 3. Repositorio de aplicación “Récord Académico” en JBPM

<https://github.com/universidad-nacional-de-loja/Record-Academico-jBPM.git>

The screenshot shows the GitHub interface for the repository 'Record-Academico-jBPM'. At the top, it indicates the repository is public and shows 0 stars, 0 forks, and 0 watches. The current branch is 'feature/visual-accessibility', which is 12 commits ahead of the 'master' branch. A recent commit by user 'joha06051999' is highlighted, with the message 'Add aira label in form Revisardocumentacion' and a commit hash of 'cdc9cb8' from 2 months ago, containing 850 commits. Below the commit list, a table of files is shown:

| File Name | Description | Last Commit |
|--------------------------|--|--------------|
| global | {/global/Email.wid} | 3 months ago |
| images | Change in tilde of letters of process diagrams | 2 years ago |
| src | Add aira label in form Revisardocumentacion | 2 months ago |
| .gitignore | Fix in bpmn | 3 months ago |
| package-names-allow-list | Batch mode | 2 years ago |
| pom.xml | Batch mode | 2 years ago |
| project.imports | Academic record thesis project | 2 years ago |
| project.repositories | Academic record thesis project | 2 years ago |
| readme.md | Academic record thesis project | 2 years ago |

The right sidebar contains repository metadata: 'About' (no description), 'Releases' (no releases published), 'Packages' (no packages published), and 'Contributors' (2 contributors: PatricaMontano and omarAlexis1999).

Figura 47. Repositorio de Código fuente

Anexo 4. Certificación de traducción del resumen de español a inglés.

Loja, 6 de enero de 2025

Lic. Jessica Michelle Macas

CERTIFICO:

Que el resumen del Trabajo de titulación denominado **“Análisis del número de Requisitos de Accesibilidad Visual en la Fase de Requerimientos para el Cumplimiento Óptimo de los Estándares WCAG 2.1 en Aplicativos Web”**, perteneciente a **Johanna Patricia Montaña Guamán**, con cédula de identidad **1106081779**, previo a la obtención del Título de Magister en Ingeniería en Software de la Universidad Nacional de Loja; traducido al inglés cumple con las características propias del idioma extranjero.

Resumen:

Este trabajo aborda la implementación de requisitos de accesibilidad visual en el desarrollo de un aplicativo web para maximizar el cumplimiento de los estándares WCAG 2.1. Se priorizaron cinco criterios clave: contraste de color, texto alternativo, etiquetas de formularios, estructura semántica y navegación accesible, los cuales permitieron alcanzar un cumplimiento inicial del 65-70% de conformidad con los estándares. A través del uso de herramientas como WAVE, se validó la efectividad de los requisitos implementados, identificando áreas críticas de mejora en el diseño y desarrollo del software. Además, se exploraron los desafíos asociados con plataformas como jBPM, donde la personalización está limitada, en contraste con desarrollos frontend desde cero, que ofrecen mayor flexibilidad para cumplir con los estándares. El estudio concluye que una selección estratégica de requisitos y un enfoque iterativo son esenciales para integrar accesibilidad desde las primeras fases del proyecto, asegurando una experiencia inclusiva y de alta calidad para los usuarios.

Abstract:

This work addresses the implementation of visual accessibility requirements in the development of a web application to maximize compliance with WCAG 2.1 standards. Five key criteria were prioritized: color contrast, alternative text, form labels, semantic structure, and accessible navigation, which enabled an initial compliance level of 65-70% with the standards. Using tools such as WAVE, the effectiveness of the implemented requirements was validated, identifying critical areas for improvement in the design and development of the software. Additionally, the challenges associated with platforms like jBPM, where customization is limited, were explored in contrast to custom-built frontends, which offer greater flexibility for meeting the standards. The study concludes that a strategic selection of requirements and an iterative approach are essential to integrating accessibility from the early stages of the project, ensuring an inclusive and high-quality experience for users.

Lic. Jessica Michelle Macas

