

Propuesta de arquitectura de control de versiones en bases de datos evolutivas.

Gerardo Adolfo Salas Montoya

Maestría en ingeniería de software con énfasis en arquitectura y diseño de software.

Universidad Cenfotec

San Jose, Costa Rica

Email: gsalasm@ucenfotec.ac.cr

Abstract—Este artículo de maestría se centra en el estudio y la mejora de los procesos de control de versiones para bases de datos evolutivas, un área que ha recibido relativamente poca atención en la disciplina de ingeniería de software, sin embargo, es una práctica cada vez más demandada en los grupos de desarrollo. Las bases de datos están diseñadas para adaptarse y cambiar con el tiempo sin embargo el no tener un registro completo de los cambios que se aplican sobre cada uno de los objetos que la componen pueden llegar a causar diferentes problemas en los grupos de desarrollo y por su puesto en las bases de datos.

Index Terms—Control de versiones de bases de datos, Bases de datos evolutivas, Integración/Despliegue continuo (CI/CD), Gestión de cambios en bases de datos, Arquitectura de bases de datos, Liquibase, Flyway, Automatización de despliegues, Mantenimiento de bases de datos, Desarrollo ágil de software

I. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de software moderno, las bases de datos desempeñan un rol fundamental para asegurar la adaptabilidad y flexibilidad de las aplicaciones. El concepto de bases de datos evolutivas surge como respuesta a la necesidad de las organizaciones de adaptarse rápidamente a cambios en los requisitos y necesidades del negocio, integrándose efectivamente en los procesos de Integración Continua y Despliegue Continuo (CI/CD). Sin embargo, la gestión de versiones en este tipo de bases de datos plantea desafíos significativos, ya que las herramientas tradicionales de control de versiones no están diseñadas para manejar la complejidad y estructura de las bases de datos, lo cual con frecuencia resulta en inconsistencias y problemas de implementación.

Este proyecto aborda la problemática de la falta de una arquitectura robusta de control de versiones para bases de datos evolutivas, lo cual afecta la calidad y eficiencia de los procesos de CI/CD en las organizaciones. La propuesta tiene como objetivo desarrollar una arquitectura de control de versiones específica para bases de datos que evolucionan constantemente, buscando reducir riesgos de errores y conflictos en los cambios, mejorar la consistencia de los datos y facilitar la integración rápida y frecuente de nuevas características. Además, esta solución permitirá mantener un registro exhaustivo de todos los cambios, apoyando tanto la implementación de mejoras como la corrección de errores.

Desde el punto de vista técnico, herramientas como Liquibase y Flyway ofrecen funcionalidades clave que pueden

adaptarse y optimizarse para satisfacer las necesidades de control de versiones en bases de datos. Operativamente, el proyecto es viable, ya que muchas organizaciones ya emplean prácticas de control de versiones en sus procesos de CI/CD, y la integración de una arquitectura específica para bases de datos no requerirá cambios disruptivos, sino mejoras y adaptaciones efectivas.

Conforme al paradigma Objetivo-Pregunta-Métrica (GQM) [1], el objetivo de esta investigación se puede enunciar de la siguiente manera:

Aplicar: Una arquitectura para el control de versiones en bases de datos que cambian con frecuencia.

Con el propósito de: mejorar la trazabilidad, consistencia y facilidad de integración de los cambios en la base de datos en entornos de CI/CD.

Con respecto a: los desafíos en el rastreo y gestión de cambios en bases de datos.

Desde el punto de vista de: investigadores y profesionales de ingeniería de software enfocados en control de versiones y prácticas de integración y despliegue continuo.

En el contexto de: mejorar las prácticas de control de versiones en organizaciones que dependen de actualizaciones frecuentes de bases de datos como parte de sus flujos de trabajo.

La estructura del resto del artículo es la siguiente. La Sección II presenta las preguntas de investigación. La Sección III discute los trabajos relacionados y el estado del arte. Los antecedentes se describen en la Sección IV. La metodología de investigación se explica en la Sección V, y los objetivos se presentan en las Secciones VI y VII. La Sección VIII describe las herramientas utilizadas para esta propuesta, "Liquibase" y "Flyway". La Sección IX aborda la descripción de la arquitectura propuesta para el control de cambios en bases de datos. La Sección X describe las pautas de la solución. Finalmente, las Secciones XI y XII discuten los resultados, conclusiones y presentan el trabajo futuro.

II. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.

Esta sección enumera las principales preguntas de investigación que se pretende responder.

- ¿Cómo mantener la integridad del esquema de base de datos a lo largo del tiempo?

- ¿Cómo colaborar efectivamente entre equipos de desarrollo y administradores de bases de datos?
- ¿Cuál es el impacto de la implementación de un sistema de control de versiones en la integridad y consistencia de los datos?

III. TRABAJOS RELACIONADOS

La siguiente investigación se ha realizado con un enfoque en el control de versiones dentro del contexto de la arquitectura de bases de datos:

En el 2006, Ambler y Sadalage [2] presentan en su obra una guía exhaustiva sobre la refactorización de bases de datos en entornos de desarrollo ágil. El libro se enfoca en cómo aplicar técnicas de refactorización para mejorar el diseño, la mantenibilidad, la extensibilidad y el rendimiento de las bases de datos. Los autores explican cómo realizar pequeños cambios en las estructuras de tablas, datos, procedimientos almacenados y disparadores sin modificar la semántica de la base de datos. Además, se detalla el proceso de evolucionar los esquemas de bases de datos al mismo ritmo que el código fuente en proyectos ágiles. La obra proporciona ejemplos prácticos y casos aplicados con Oracle y Java, adaptables a otras plataformas como CSharp, C++ y SQL Server. Su principal objetivo es ofrecer estrategias para reducir el desperdicio, el retrabajo, los riesgos y los costos en el desarrollo de bases de datos, haciendo posible su evolución en entornos productivos complejos.

Luego en el 2007, Sadalage [3] aborda la integración continua de bases de datos dentro de equipos ágiles, un desafío común debido a la dificultad de integrar continuamente la base de datos con el código de la aplicación. El autor defiende que el Desarrollo Evolutivo de Bases de Datos puede ser perfectamente compatible con los métodos ágiles, como el Desarrollo Guiado por Pruebas (TDD) y la Programación en Pareja. Este enfoque facilita a los equipos de desarrollo realizar modificaciones constantes en la base de datos sin comprometer la eficacia de las prácticas ágiles. A través de este trabajo, Sadalage demuestra que la integración continua de bases de datos no solo es posible, sino beneficiosa para mantener la calidad y confiabilidad del software a lo largo de todo el ciclo de desarrollo.

Spinellis [4] discute en su artículo la importancia de los sistemas de control de versiones (VCS) en el desarrollo de software. El autor subraya que, aunque muchos programadores no escribirían código de producción sin la ayuda de un editor o un compilador, muchos proyectos de software no utilizan un VCS, lo cual puede ser perjudicial a largo plazo. Spinellis argumenta que la adopción de un VCS puede mejorar la eficiencia y reducir el riesgo de errores en los proyectos, aunque su implementación requiere un esfuerzo inicial que muchas veces es percibido como un obstáculo. A través de este artículo, se destaca cómo un buen sistema de control de versiones puede ser una de las mejoras más significativas para los equipos de desarrollo.

Fluri, Fornari y Pustulka [5] abordan los beneficios de integrar prácticas de CI/CD (Integración Continua / Entrega Continua) en el desarrollo de aplicaciones de bases de datos. A

través de estudios de caso industriales, los autores demuestran que la automatización de la integración y el despliegue de bases de datos mediante CI/CD reduce los fallos de despliegue, mejora la estabilidad del sistema y aumenta la frecuencia de los despliegues. Además, desde una perspectiva cualitativa, los desarrolladores informan una carga cognitiva reducida y mejoras en la calidad del software. Los resultados cuestionan las prácticas actuales de lanzamiento de bases de datos, que a menudo están impulsadas por expectativas comerciales y ventanas de lanzamiento fijas.

Cao [6] presenta un estudio empírico sobre la estimación del esfuerzo en el desarrollo ágil de software, evaluando diversas actividades como el desarrollo de características, la corrección de errores y la refactorización. Los resultados del estudio indican que, en contraste con la creencia popular, la precisión de las estimaciones de esfuerzo no mejora con el tiempo en el desarrollo ágil. Además, el estudio revela que las tareas de corrección de errores y refactorización tienden a ser sobreestimadas, mientras que las tareas de desarrollo de características no muestran tal patrón. Esta investigación aporta nueva información sobre las dificultades de estimación en el contexto de metodologías ágiles.

Roddick [7] explora en su artículo la evolución de esquemas en los sistemas de bases de datos, un tema crucial para garantizar que los sistemas se adapten a los cambios del mundo real mediante modificaciones en la estructura del esquema. Además, destaca la importancia de retener estados anteriores del esquema para asegurar la confiabilidad y la integridad de los datos. El autor aborda los desafíos que enfrentan los administradores de bases de datos al tomar decisiones sobre la validez de los datos existentes cuando se implementa un nuevo esquema. La evolución de esquemas se presenta como una propiedad esencial para la adaptación y la gestión de los sistemas de bases de datos a lo largo del tiempo.

Las fuentes de información que se mencionan, como IEEE, ACM, Research Gate entre otras, proporcionan una base sólida para entender las prácticas actuales en el desarrollo de software y la gestión de bases de datos. Los trabajos revisados destacan la importancia del uso de sistemas de control de versiones, como se observa en el estudio de Spinellis [4], que subraya cómo estos sistemas mejoran la productividad y reducen los riesgos asociados al desarrollo de software. Por otro lado, el trabajo de Fluri et al. [5] aborda la integración continua y entrega continua (CI/CD) en el contexto de bases de datos, demostrando cómo la automatización de estos procesos puede mejorar la estabilidad y eficiencia en los proyectos de desarrollo. Además, la evolución de esquemas en sistemas de bases de datos, un tema tratado por Roddick [7], es fundamental para asegurar que las bases de datos puedan adaptarse a los cambios sin comprometer la integridad de los datos. Finalmente, la investigación de Cao [6] sobre la estimación de esfuerzos en el desarrollo ágil ofrece perspectivas valiosas sobre cómo las metodologías ágiles impactan en la precisión de las estimaciones de trabajo, un aspecto crítico en proyectos complejos. Estos trabajos no solo enriquecen la comprensión de los procesos ágiles y su integración con la gestión de bases de datos, sino que también forman la base para las soluciones propuestas en esta investigación.

IV. ANTECEDENTES

Dada la investigación realizada se aprecia como muchos autores consideran que el campo de las bases de datos ha experimentado una evolución significativa, impulsada por la necesidad de adaptarse a los cambios rápidos del entorno de desarrollo ágil y las metodologías de integración continua (CI) y entrega continua (CD). La gestión de versiones y la refactorización de bases de datos, temas clave en este estudio, han sido objeto de múltiples investigaciones. Uno de los trabajos más relevantes en este campo es el de Ambler y Sadalage (2006) [2], quienes introdujeron las técnicas de refactorización de bases de datos como un medio para mejorar la estructura y la calidad de los sistemas de bases de datos sin comprometer su semántica. Este enfoque permite que las bases de datos evolucionen de manera paralela al código fuente, lo que facilita la adaptación continua en proyectos ágiles.

En paralelo, la investigación sobre la integración de bases de datos en entornos CI/CD ha ganado relevancia, como lo demuestra el trabajo de Fluri et al. (2023) [5], que mostró cómo la automatización de la integración y despliegue de bases de datos contribuye a la estabilidad y eficiencia de los proyectos de software. Sin embargo, a pesar de estos avances, sigue siendo un desafío integrar las bases de datos en los ciclos ágiles de manera eficiente y con control adecuado de versiones. Así, la evolución de esquemas en sistemas de bases de datos, descrita por Roddick (1992) [7], sigue siendo una cuestión crucial, ya que permite que las bases de datos se adapten a los cambios del mundo real mientras mantienen la integridad de los datos. Estos antecedentes destacan la importancia de crear una arquitectura sólida de control de versiones para bases de datos.

V. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación adoptada en esta propuesta será de enfoque mixto, integrando tanto técnicas cualitativas como cuantitativas. Según Monje (2011) [8], el enfoque mixto permite abordar de manera integral los fenómenos bajo estudio, ofreciendo una comprensión más profunda al combinar la recolección de datos descriptivos y numéricos. Este enfoque se utilizará para explorar las percepciones y prácticas relacionadas con el control de versiones en bases de datos evolutivas, utilizando técnicas como entrevistas semiestructuradas y análisis documental en el caso cualitativo, y encuestas y experimentos controlados en el caso cuantitativo.

La metodología cualitativa se utilizará para obtener una comprensión profunda de las experiencias y desafíos de los desarrolladores y administradores de bases de datos en relación con el control de versiones. Para ello, se llevarán a cabo entrevistas semiestructuradas con expertos en el área de desarrollo de software y administración de bases de datos, así como un análisis documental de los registros de cambios y manuales de proyectos reales. La selección de los participantes se realizará mediante un muestreo intencional, y los datos obtenidos serán analizados a través de un enfoque de análisis temático, permitiendo identificar patrones recurrentes en las prácticas de control de versiones.

Por otro lado, el enfoque cuantitativo se aplicará para medir y analizar los datos numéricos relacionados con la implementación y el rendimiento de las prácticas de control de versiones en bases de datos. A través de encuestas estructuradas, se recolectarán datos sobre la frecuencia, efectividad y desafíos de las prácticas de control de versiones, mientras que los experimentos controlados permitirán evaluar el rendimiento y costo técnico de herramientas como Liquibase y Flyway. Los datos recolectados serán analizados utilizando técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales, permitiendo obtener conclusiones más objetivas y generalizables sobre las mejores prácticas en este campo.

La integración de ambos enfoques cualitativos y cuantitativos permitirá obtener una visión holística del fenómeno investigado. La triangulación de los datos cualitativos y cuantitativos se llevará a cabo mediante la comparación de los resultados de las entrevistas y las encuestas, lo que permitirá identificar convergencias y divergencias en los hallazgos. Además, se realizarán análisis comparativos entre los resultados obtenidos mediante ambos métodos para validar y complementar los hallazgos, ofreciendo así una comprensión más robusta y completa del problema de investigación.

El uso del enfoque mixto se justifica por la complejidad del tema investigado. Esta metodología permite abordar tanto los aspectos técnicos como los humanos del control de versiones en bases de datos evolutivas, lo que proporciona una base sólida de datos empíricos. Estos datos no solo permitirán obtener conclusiones sobre el estado actual de las prácticas en este campo, sino también ofrecer recomendaciones prácticas basadas en evidencia para mejorar las prácticas de control de versiones en la gestión de bases de datos.

VI. OBJETIVO

El objetivo general de este proyecto es proponer una arquitectura de control de versiones para bases de datos relacionales evolutivas que facilite la gestión de cambios, mejore la eficiencia y la seguridad de los procesos de CI/CD. La elección de la taxonomía de Bloom (1956) se debe a su amplia documentación y aplicabilidad, ya que su estructuración jerárquica permite definir los objetivos de manera clara y ordenada, desde los más generales hasta los más específicos. Esto facilita una alineación adecuada con los principios del control de versiones en bases de datos dentro de entornos ágiles de desarrollo.

VII. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Analizar las herramientas actuales de control de versiones para bases de datos relacionales, tales como Liquibase y Flyway, con el fin de comprender sus características, ventajas y limitaciones en entornos de CI/CD.
- 2) Evaluar el impacto técnico de implementar cambios en bases de datos sin un control de versiones adecuado, con énfasis en los efectos sobre la integridad, escalabilidad y confiabilidad de las bases de datos en entornos de desarrollo ágiles.
- 3) Desarrollar una arquitectura que aborde los desafíos específicos de las bases de datos evolutivas, adaptando y

mejorando las prácticas actuales de control de versiones para permitir un manejo efectivo de los cambios.

- 4) Probar la efectividad de la arquitectura propuesta en entornos reales de desarrollo de software, asegurando que los beneficios descritos se materialicen en la práctica y mejoren la productividad y seguridad de los procesos de desarrollo.

VIII. IBM EQUAL ACCESSIBILITY CHECKER

To collect the WCAG 2.2 ratings on the analyzed pages, we used the "IBM Equal Accessibility Checker 7.3," which is an open-source tool (<https://github.com/IBM/equal-access>) and available for free. It integrates into the browser's development tools and provides a comprehensive analysis environment through the auditor's or developer's browser, allowing for automatic accessibility evaluation of the visited page. This study is conducted using Google Chrome, and therefore, the tool is obtained through the official Google Chrome extension store.[9]

We will use version 7.3, which includes six new success criteria from the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2 Level A and AA, as well as criteria that were already included in previous versions.

The rule set applied in this tool is grouped as follows:

- Non-text content
- Keyboard content
- Language Parsing

The technique used for analysis relies on the tool's functionality, which checks various aspects of web accessibility in accordance with WCAG 2.2 guidelines, as mentioned earlier. It scans the pages to be analyzed, pinpointing potential accessibility issues and offering insights into elements that don't meet specified standards, such as exporting results in Excel format, among other functionalities.

Key features to note include:

- Automatic scanning: The tool automatically analyzes the webpage, identifying areas of concern regarding accessibility.
- Comprehensive reports: Following the analysis, we thoroughly examine the detailed reports provided by the tool to draw conclusions and formulate recommendations aimed at improving accessibility.

This tool offers integrated accessibility testing through plug-ins and modules for Node JS and Karma [10]. The URL that will be covered in the scope of the investigation are in the taxonomy of the page in next image

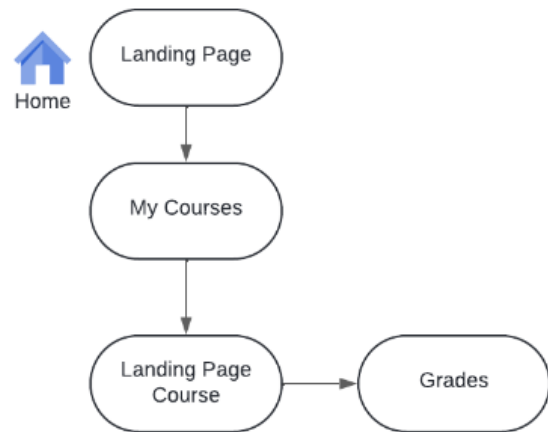


Fig. 1. Moodle page taxonomy

IX. MOODLE

Moodle is one of the most popular open source LMS options available today. It features dashboards, learner tracking, and multimedia support. This open source Learning Management System also gives the ability to create mobile-friendly online courses integrating third party add-ons. One of the standouts of this tool is the user community [11].

E-Learning has a series of conditions to have a successful learning process. The student's motivation and his/her level of responsibility and autonomy are crucial to achieve it. It is also important the quality of the digital materials and their design, as well as the appropriate learning situations and methodologies provided by the teacher to carry out learning, an accurate, quick and efficient tutoring are also fundamental elements [12].

X. WCAG

The Web Content Accessibility Guidelines 2.2 [13] was issued by the world's leading organization - The World Wide Web Consortium (W3C) on October 5, 2023. In the following image are the differences between the tree version.

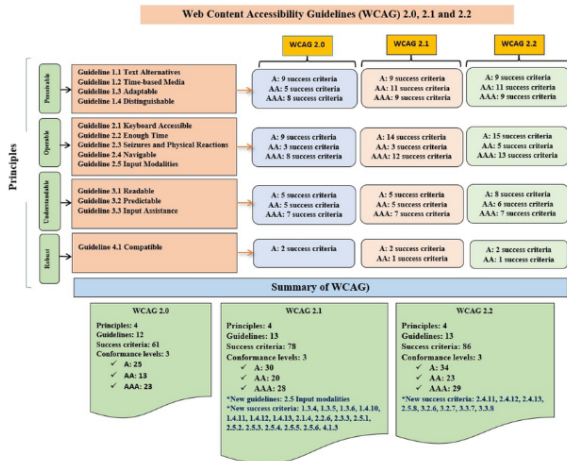


Fig. 2. Web Content Accessibility Guidelines 2.0 / 2.1 / 2.2

Accessibility, usability, and inclusion are three important factors to be considered while developing a website usable by people with disabilities [14]. The WAI suggests a set of WCAG guidelines to be followed by developers of any website. Thus, each tool is checked if it follows at least one version of WCAG standards like WCAG 2.0, WCAG 2.1 and WCAG 2.2.

Success criteria WCAG guidelines available at the W3C have a testable success criterion [15] that can be categorized into three levels of conformance namely A, AA and AAA respectively. Each conformance level creates a better user experience for a wider audience. Thus, we ensured to select tools that follow at least two levels of conformance to evaluate a webpage no less than sufficiently accessible. The conformance levels are as follows:

- **Level A (Lowest Level):** This holds the lowest level of accessibility success criterion to be satisfied by any website to be classified as accessible. A few suggestions by this level include-provide text alternatives for all non-text content; provide equivalent information for time-based media; create content that may be presented in multiple ways; use of color; audio and keyboard controls.
- **Level AA (Sufficient Level):** This holds a higher level of accessibility success criterion than Level A. The website should meet all conditions mentioned in Level A. Additionally, it should include live audio caption; audio description; text contrast and resizing; text over images; appropriate labels/headings.
- **Level AAA (Highest Level):** This holds the highest level of accessibility success criterion. The website should successfully meet all the criteria mentioned in Level A and Level AA along with extended audio descriptions; sign languages; multimedia alternatives and interruptions; and content size.

A. POUR factors

Guidelines and success criteria defined by the W3C are organized around four principles called the POUR factors. These

principles lay the foundation necessary for anyone to access and use Web content with ease [16]. POUR is the abbreviation of Perceivable, Operable, Understandable and Robust. Each of the web accessibility evaluation tool is checked to follow at least one of the four factors. Additionally, information available on the website should be:

- **Perceivable:** The user interface components and information on website must be presented in a way that can be perceived by users with ease.
- **Operable:** Navigation and user interface components must be operable. This is necessary for users to operate all components required for interaction.
- **Understandable:** Operation and information of the interface must be understandable by the user. This is necessary as users must be able to understand the information and operations offered by website.
- **Robust:** Contents of website should work across.

XI. RESULTS

The W3 Consortium provides a publicly available quick reference for objectively rating the integration of accessibility into a platform. The WCAG 2.2 guidelines have a list of categories that can be rated on three levels: A, AA, and AAA. The lowest category, A, indicates poor accessibility, while the AA category signifies meeting all criteria of the A rating plus additional criteria. The highest category, AAA, implies that the previous levels are met.

We have established different levels to categorize the issue founded in the analysis.

As we can see in the 3 it displays the issues and non-issues found in different sections of the Moodle platform that Universidad CENFOTEC uses for virtual education. The pages evaluated in this analysis are shown on the y-axis. It is worth noting that the "Landing Page" has a higher proportion of non-issues compared to issues, while the "Landing Page Course" has slightly more issues than non-issues. This graph can be used as a diagnostic tool to identify areas where web accessibility can be improved to comply with WCAG standards, ensuring an inclusive experience for all users.

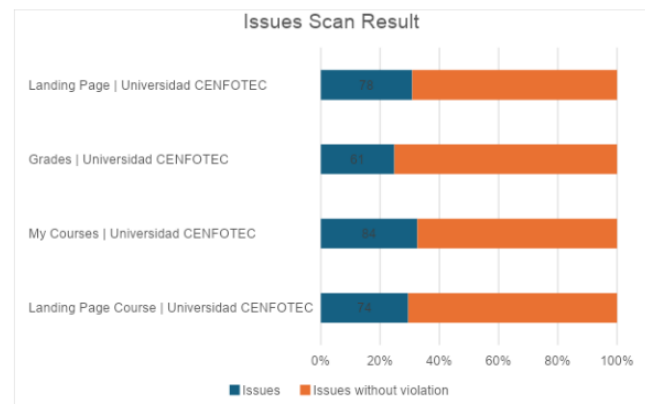


Fig. 3. Issues scan result

Also, in the figure 4, 5, 6 and 7 the bar charts presents a comparison of web accessibility across different sections

of the Moodle platform. The chart is devised to showcase compliance with WCAG standards focusing on the operability of web pages. The blue and orange bars facilitate an immediate visual comparison, with orange bars representing issues without a violation consistently outperforming the blue ones that represent violations to the WCAG principles. This suggests that the page has good accessibility. The evaluated categories include “Landing Page”, “My Courses”, “Grades”, and “Landing Page Course”. The highest bar reaches nearly the value of 35 on the Y-axis, indicating a high level of operable accessibility. Another way to interpret this chart is as an accessibility blueprint, where each bar represents a pillar of the web structure. The height of the bars reflects the solidity and compliance with accessibility principles, which is essential for building an inclusive web environment.

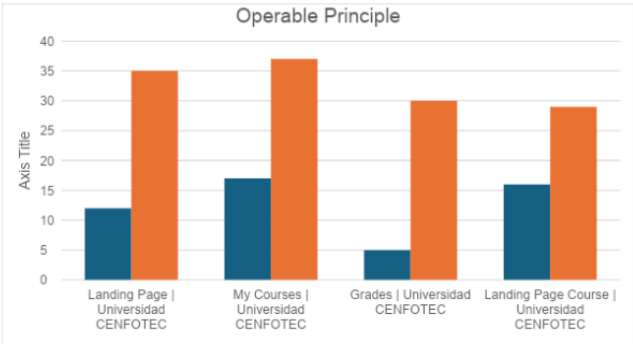


Fig. 4. Operable Principle

q

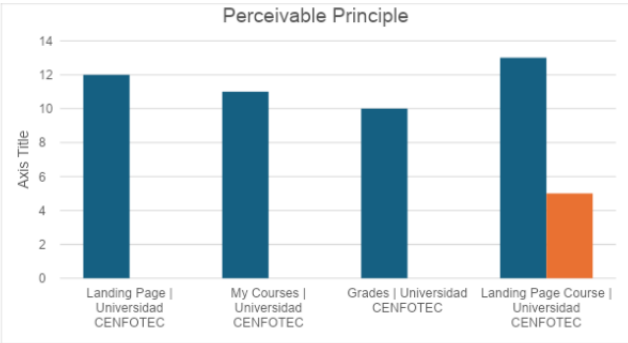


Fig. 5. Perceivable Principle

q

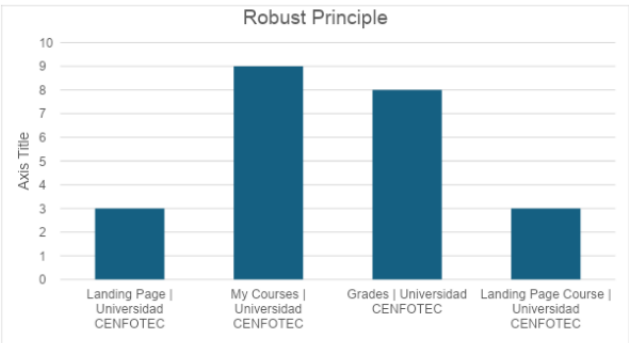


Fig. 6. Robust Principle

q

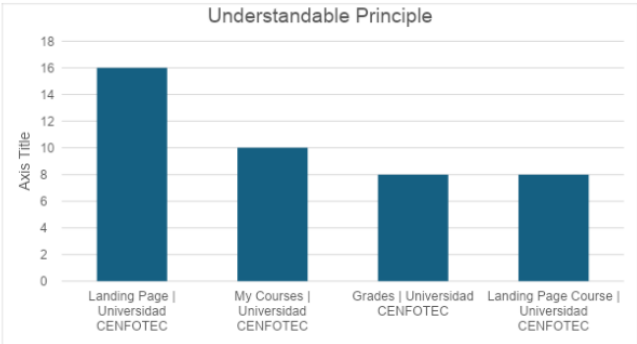


Fig. 7. Understandable Principle

The following is a comprehensive evaluation of the Moodle platform used by Universidad CENFOTEC, as summarized in I. The evaluation highlights the acceptance criteria that have scored the highest and lowest across all sections of the platform. The criterion “3.2.2 On Input” has received the highest score of 16 for the “Landing Page”, indicating that the platform has exceptional performance in handling user input. However, the criterion “1.4.1 Use of Color” has scored the lowest, suggesting potential improvements in color usage for a better user experience. Some criteria like “2.4.3 Focus Order” and “3.3.2 Labels or Instructions” have not received any scores, which may imply that they are either not applicable or have not been evaluated. By the same token, the “My Course” section has achieved the highest total score of 47, indicating that it has effectively complied with most acceptance criteria. Conversely, the “Grades” section, with the lowest total score of 31, might have more room for improvement. While these insights provide a quantitative overview of the platform’s performance, they should be complemented with qualitative user feedback for a holistic understanding of the platform’s functionality and user experience.

TABLE I
ACCEPTANCE CRITERIA (A)

Acceptance Criteria	Grades	Landing Page	Landing Page Course	My Course
1.1.1 Non-text Content	2	4	5	5
1.3.1 Info and Relationships	7	7	7	5
1.4.1 Use of Color	1	1	1	1
2.1.1 Keyboard	1	-	6	2
2.4.1 Bypass Blocks	3	11	7	9
2.4.3 Focus Order	-	-	-	2
2.5.3 Label in Name	1	1	3	4
3.2.2 On Input	8	16	8	8
3.3.2 Labels or Instructions	-	-	-	2
4.1.2 Name, Role, Value	8	3	3	9
Total	31	43	40	47

The "Acceptance Criteria (AA)" represented in the II shows a comprehensive evaluation of the Moodle platform utilized by Universidad CENFOTEC. The criterion "1.4.3 Contrast (Minimum)" is only applicable or evaluated for the "Landing Page Course" with a score of 5. On the other hand, the criterion "2.4.11 Focus Not Obscured (Minimum)" has a low score of 1 for "Grades", "Landing Page", and "Landing Page Course", suggesting potential areas for improvement. The criterion "2.4.7 Focus Visible" performs well in the "Landing Page" with the highest score of 16. Moreover, the criterion "2.5.8 Minimum Target Size" has the highest scores across all sections, with "My Courses" scoring the highest at 22, suggesting satisfactory target size across all sections.

The total scores reveal that "My Courses" effectively meets most of the acceptance criteria with a total score of 37, while the "Grades" section has the lowest total score of 30, indicating that there is more room for improvement. These insights provide a quantitative overview of the platform's performance against various acceptance criteria, highlighting areas of strength and potential improvement. However, it's always a good idea to gather qualitative feedback from users to complement these quantitative metrics.

TABLE II
ACCEPTANCE CRITERIA (AA)

Acceptance Criteria	Grades	Landing Page	Landing Page Course	My Courses
1.4.3 Contrast(Min)	-	-	5	-
2.4.11 Focus Not Obscured	1	1	1	-
2.4.7 Focus Visible	8	16	8	15
2.5.8 Minimum Target Size	21	18	20	22
Total	30	35	34	37

XII. SOLUTION PROPOSAL

The platform has demonstrated strong performance in certain areas such as "On Input" and "Minimum Target Size", indicating effective user input handling and satisfactory target size across all sections. However, there are areas that require improvement, particularly in "Use of Color" and "Focus Not Obscured (Minimum)". To enhance the user experience, it is recommended to revisit the design elements related to color usage and focus visibility. This may involve adopting a more

contrasting color scheme to improve readability and ensuring that the focus is not obscured during navigation.

In addition to these improvements, it would be beneficial to implement a comprehensive training program for the faculty and staff at Universidad CENFOTEC. The program could focus on the importance of web accessibility and provide practical guidance on how to create and maintain accessible content. Incorporating user feedback into the platform's development process can also ensure that it evolves to meet the changing needs of its users. Regular accessibility audits can be conducted to identify any new issues and monitor the effectiveness of implemented solutions. Furthermore, considering partnerships with accessibility consultants or services could provide valuable expertise and resources. By fostering an institutional culture that values accessibility, Universidad CENFOTEC can ensure that its Moodle platform remains an effective and inclusive tool for learning.

XIII. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

- The importance of e-learning in the educational process is steadily increasing, necessitating that universities provide comprehensive facilities for both students and teachers to access knowledge through this medium. Ensuring accessibility across all aspects of the learning management system (LMS) platform is essential to enable seamless interaction with tools, modules, peers, and instructors.
- Moodle boasts commendable accessibility features, particularly in terms of customizable design elements, style options, selection editors, and alert configurations. However, there are notable gaps in accessibility considerations, particularly concerning session timeout protocols and default page settings.
- Moodle demonstrates strong adherence to accessibility criteria in various aspects such as page titles, breadcrumbs, navigation bars and menus, as well as link types and texts, ensuring visibility and navigational clarity for users with diverse needs.

Moodle has good accessibility features regarding customizing the design, style, selection editor, alert types, saving current state, but it does not consider accessibility criteria with respect to session timeout and default page. Moodle considered a good accessibility criteria with respect to page title, breadcrumbs, navigation bars and menu, link type and link text, visible.

It is recommended that Universidad Cenfotec take into account the results and accessibility evaluation presented in this research work in order to improve or redesign their website. At the same time, it is recommended to keep in mind the implementing the WCAG 2.2 web content accessibility guidelines, will be able to have more inclusive websites, providing equal opportunities. to all people and eliminate discrimination and put the page in priority google searches.

REFERENCES

- [1] V. R. Basili, "Software modeling and measurement: The goal/question/metric paradigm," 1992.
- [2] S. W. Ambler and P. J. Sadalage, *Refactoring Databases: Evolutionary Database Design*. Addison-Wesley Professional, 2006.

- [3] P. J. Sadalage, *Recipes for Continuous Database Integration: Evolutionary Database Development*. Addison-Wesley Professional, 2007.
- [4] D. Spinellis, "Version control systems," *IEEE Software*, vol. 22, no. 5, pp. 108–109, 2005.
- [5] J. Fluri, F. Fornari, and E. Pustulka, "Measuring the benefits of ci/cd practices for database application development," in *IEEE/ACM International Conference on Software and System Processes (ICSSP)*, 2023, pp. 46–57.
- [6] L. Cao, "Estimating efforts for various activities in agile software development: An empirical study," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 83 311–83 321, 2022.
- [7] J. F. Roddick, "Schema evolution in database systems: An annotated bibliography," *ACM SIGMOD Record*, vol. 21, no. 4, pp. 35–40, 1992.
- [8] C. Monje, "Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa," 2011. [Online]. Available: <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- [9] [Online]. Available: <https://www.ibm.com/able/toolkit/>
- [10] [Online]. Available: <https://www.methodsandtools.com/tools868/karma.php>
- [11] "Moodle," <https://moodle.com/>, accessed: 01.06.2024.
- [12] M. Rahman, M. Daud, and N. Ensima, "Learning management system (lms) in teaching and learning," *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, vol. 9, no. 11, 2019.
- [13] W. W. W. C. W3C, "Web content accessibility guidelines - wcag 2.2," 10 2023.
- [14] W3C, "Accessibility, usability, and inclusion," 8 2020. [Online]. Available: <http://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-usability-inclusion/>
- [15] —, "Web content accessibility guidelines (wcag) 2.2," 12 2008, [Online]. Available.
- [16] K. Moorman, "Web review: W3c, the world wide web consortium," *XRDS: Crossroads*, vol. 6, no. 2, p. 4, 1999.