



Universitat
de les Illes Balears

TESIS DOCTORAL
2022

MODELO DE PROCESO PARA LA
EVALUACIÓN CONTINUA DE LA
ACCESIBILIDAD DE SITIOS WEB

Milton Alfredo Campoverde Molina



Universitat
de les Illes Balears

TESIS DOCTORAL
2022

Programa de Doctorado en Tecnologías de la
Información y las Comunicaciones

**MODELO DE PROCESO PARA LA
EVALUACIÓN CONTINUA DE LA
ACCESIBILIDAD DE SITIOS WEB**

Milton Alfredo Campoverde Molina

Director: Llorenç Valverde García

Director: Sergio Luján Mora

Tutor: Llorenç Valverde García

Doctor por la Universitat de les Illes Balears

Llorenç Valverde García, catedràtic del Departament de Matemàtiques i Informàtica de la Universitat de les Illes Balears

FA CONSTAR:

que la present memòria “Modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de sitios web” presentada per Milton Alfredo Campoverde Molina per optar al grau de Doctor en Tecnologies de la Informació i les Comunicacions, ha estat realitzada sota la seva direcció i compleix els requisits per ser considerada com a tesi doctoral.

Firma i data

Sergio Luján Mora, professor del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Alicante

FA CONSTAR:

que la present memòria “Modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de sitios web” presentada per Milton Alfredo Campoverde Molina per optar al grau de Doctor en Tecnologies de la Informació i les Comunicacions, ha estat realitzada sota la seva direcció i compleix els requisits per ser considerada com a tesi doctoral.

Firma i data

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada:

A Dios, por ser siempre mi guía y fortaleza en cada paso que doy.

A mis padres Vicente y Dolores, quienes han velado por mi bienestar con su amor, paciencia y esfuerzo, siempre inculcando en mí el ejemplo.

A mis hermanos, amigos y compañeros, por su apoyo incondicional durante todo este proceso.

A todos ellos, muchas gracias de todo corazón.

Agradecimientos

Mi más grande gratitud a:

Llorenç Valverde García y Sergio Luján Mora, por ser mi guía en este proceso, siempre compartiendo sus experiencias científicas y consejos.

La Universitat de les Illes Balears, por permitirme cumplir este sueño.

Todas las personas y amigos, que contribuyeron de una u otra forma a la realización de esta tesis doctoral.

Cuenca (Ecuador), 01 de abril de 2022
Milton Alfredo Campoverde Molina

Lista de publicaciones

Esta tesis doctoral por compendio de artículos tiene 11 publicaciones: 6 en revistas, 4 en congresos y 1 capítulo de libro. El compendio cuerpo principal de esta tesis consta de los siguientes artículos:

1. (Capítulo 7) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Retrospective Analysis of Accessibility of the Educational Web Portals: The Ecuadorian Case», en 13th International Technology, Education and Development Conference (INTED2019 Proceedings), Valencia, España: IATED, mar. de 2019, págs. 3774-3783.
DOI: 10.21125/inted.2019.0961
2. (Capítulo 8) M. Campoverde-Molina y L. Valverde, «Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador», Cátedra, vol. 2, no. 2, págs. 55-75, may. de 2019.
DOI: 10.29166/catedra.v2i2.1646
3. (Capítulo 9) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García, «Web Accessibility in the Web Portals of the Educational Institutions of Ecuador. Preliminary Analysis», en 11th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN19 Proceedings), Palma, España: IATED, jul. de 2019, págs. 4697-4707.
DOI: 10.21125/edulearn.2019.1171
4. (Capítulo 10) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García, «Accessibility Analysis of Electronic Documents Published in Educational Web Portals: The Ecuadorian Case», en 11th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN19 Proceedings), Palma, España: IATED, jul. de 2019, págs. 4686-4696.
DOI: 10.21125/edulearn.2019.1170
5. (Capítulo 11) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador apli-

Lista de publicaciones

cando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012», RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao, no. E22, págs. 53-68, ago. de 2019.

Indicios de calidad:

- Scimago Journal Rank (SJR 2020): 0.14 - Computer Science: Q4.

6. (Capítulo 12) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Análisis de accesibilidad web en las instituciones educativas públicas y fiscomisionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012», en Transformación digital en las organizaciones, L. P. Ayabaca y J. K. V. Durán, eds., Centro de Investigación y Desarrollo Profesional (CIDEPRO): Babahoyo, Ecuador, 2019, cap. 1, págs. 11-21.
DOI: 10.29018/978-9942-823-15-1

7. (Capítulo 13) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García, «Empirical Studies on Web Accessibility of Educational Websites: A Systematic Literature Review», IEEE Access, vol. 8, págs. 91676-91700, 2020.
DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2994288

Indicios de calidad:

- Journal Citation Reports (JCR 2020): 3.367 - Computer Science, Information Systems: 65/162 (Q2), Engineering, Electrical & Electronic: 94/273 (Q2), Telecommunications: 36/91 (Q2).
- Scimago Journal Rank (SJR 2020): 0.59 - Computer Science, Engineering: Q1, Materials Science: Q2.

8. (Capítulo 14) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Systematic literature review on software architecture of educational websites», IET Software, vol. 15, no. 4, págs. 239-259, 2021.
DOI: 10.1049/sfw2.12024

Indicios de calidad:

- Journal Citation Reports (JCR 2020): 1.363 - Computer Science, Software Engineering: 77/108 (Q3).
- Scimago Journal Rank (SJR 2020): 0.31 - Computer Science: Q3.

9. (Capítulo 15) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review», Universal Access in the Information Society (UAIS), págs. 1615-5297, 2021.
DOI: 10.1007/s10209-021-00825-z

Indicios de calidad:

- Journal Citation Reports (JCR 2020): 3.078 - Computer Science, Cybernetics (SCIE): 9/23 (Q2); Ergonomics (SSCI): 8/16 (Q2).
- Scimago Journal Rank (SJR 2020): 0.49 - Computer Science: Q2.

10. (Capítulo 16) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Process Model for Continuous Testing of Web Accessibility», IEEE Access, vol. 9, págs. 139576-139593, 2021.

DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3116100

Indicios de calidad:

- Journal Citation Reports (JCR 2020): 3.367 - Computer Science, Information Systems: 65/162 (Q2), Engineering, Electrical & Electronic: 94/273 (Q2), Telecommunications: 36/91 (Q2).
- Scimago Journal Rank (SJR 2020): 0.59 - Computer Science, Engineering: Q1, Materials Science: Q2.

11. (Capítulo 17) M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Evaluation of the Accessibility of the Homepages of the Web Portals of Ecuadorian Higher Education Institutions Ranked in Webometrics», en 2021 IEEE Fifth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), Cuenca, Ecuador: IEEE, oct. de 2021, págs. 259-264.

DOI: 10.1109/ETCM53643.2021.9590684

Índice general

Dedicatoria	III
Agradecimientos	V
Lista de publicaciones	VII
Índice de figuras	XVII
Índice de tablas	XIX
Resumen	XXI
Abstract	XXIII
Resum	XXV
Acrónimos	XXVII
I SÍNTESIS	1
1 Introducción	3
1.1 Motivación	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Planificación del trabajo	5
1.4 Estructura del documento	5
1.5 Convenciones de escritura	8

2	Publicaciones y visibilidad	9
2.1	Publicaciones principales	9
2.1.1	Revistas	10
2.1.2	Congresos	11
2.1.3	Capítulos de libro	12
2.2	Visibilidad	12
2.2.1	Perfil en ORCID	13
2.2.2	Perfil en Scopus	13
2.2.3	Perfil en ResearchGate	13
2.2.4	Perfil en Publons	15
2.2.5	Perfil en IEEE Xplore	15
2.2.6	Perfil en Google Académico	16
2.2.7	Perfil en IEEE DataPort	16
2.2.8	Perfil en SciProfiles	17
II	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO	23
3	Caracterización del problema	25
3.1	Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad A	27
3.2	Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad AA	30
3.3	Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad AAA	31
3.4	Evaluación de la accesibilidad de documentos electrónicos	33
3.5	Conclusiones	33
4	Recopilación del estado de la cuestión	37
4.1	Estudios empíricos sobre la accesibilidad de los sitios web educativos	37
4.1.1	Metodología de la revisión sistemática de la literatura	37
4.1.2	Planificación de la revisión sistemática de la literatura	38
4.1.2.1	Identificación de la necesidad de una revisión sistemática de la literatura	38
4.1.2.2	Desarrollo del protocolo de la revisión sistemática de la literatura	39
4.1.3	Realización de la revisión sistemática de la literatura	42
4.1.3.1	Identificación de la investigación	42
4.1.3.2	Selección de estudios	44
4.1.3.3	Evaluación de la calidad de los estudios	44
4.1.4	Resultados de la revisión sistemática de la literatura	49

4.2	Accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el mundo	50
4.2.1	Metodología de la revisión sistemática de la literatura	50
4.2.2	Planificación de la revisión sistemática de la literatura	50
4.2.2.1	Identificación de la necesidad de una revisión sistemática de la literatura	50
4.2.2.2	Desarrollo del protocolo de la revisión sistemática de la literatura	51
4.2.3	Realización de la revisión sistemática de la literatura	57
4.2.3.1	Identificación de la investigación	57
4.2.3.2	Selección de estudios	57
4.2.3.3	Evaluación de la calidad de los estudios	58
4.2.4	Resultados de la revisión sistemática de la literatura	58
4.3	Arquitectura de software de los sitios web educativos	67
4.3.1	Metodología de la revisión sistemática de la literatura	68
4.3.2	Planificación de la revisión sistemática de la literatura	68
4.3.2.1	Identificación de la necesidad de una revisión sistemática de la literatura	68
4.3.2.2	Desarrollo del protocolo de la revisión sistemática de la literatura	68
4.3.3	Realización de la revisión sistemática de la literatura	71
4.3.3.1	Identificación de la investigación	71
4.3.3.2	Selección de estudios	72
4.3.3.3	Evaluación de la calidad de los estudios	74
4.3.4	Resultados de la revisión sistemática de la literatura	78
4.4	Conclusiones	79
5	Resultados obtenidos	81
5.1	Modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de sitios web	81
5.1.1	Fase I - Planear	81
5.1.2	Fase II - Hacer	83
5.1.3	Fase III - Verificar	83
5.1.4	Fase IV - Actuar	84
5.1.5	Caso de estudio	84
5.2	Conclusiones	84

III COMPENDIO DE ARTÍCULOS	85
6 Compendio	87
7 Retrospective analysis of accessibility of the educational web portals: the Ecuadorian case	89
8 Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador	91
9 Web accessibility in the web portals of the educational institutions of Ecuador. Preliminary analysis	93
10 Accessibility analysis of electronic documents published in educational web portals: the Ecuadorian case	95
11 Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012	97
12 Análisis de accesibilidad web en las instituciones educativas públicas y fiscomisionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012	99
13 Empirical studies on web accessibility of educational websites: a systematic literature review	101
14 Systematic literature review on software architecture of educational websites	103
15 Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review	105
16 Process model for continuous testing of web accessibility	107
17 Evaluation of the accessibility of the homepages of the web portals of Ecuadorian higher education institutions ranked in Webometrics	109
IV DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	111
18 Discusión	113

19 Conclusiones	119
19.1 Conclusiones	119
19.2 Contribuciones	121
19.3 Trabajos futuros	122
Bibliografía	125

Índice de figuras

1.1	Etapas del desarrollo de la tesis doctoral	6
2.1	Perfil en ORCID del autor de la tesis	14
2.2	Perfil en Scopus del autor de la tesis	15
2.3	Perfil en ResearchGate del autor de la tesis	16
2.4	Perfil en Publons del autor de la tesis	17
2.5	Perfil en IEEE Xplore del autor de la tesis	18
2.6	Perfil en Google Académico del autor de la tesis	19
2.7	Perfil en IEEE DataPort del autor de la tesis	20
2.8	Perfil en SciProfiles del autor de la tesis	21
3.1	Procedimiento de evaluación: WCAG-EM 1.0 [31]	27
3.2	Análisis comparativo de la evaluación de accesibilidad de los sitios web de las unidades educativas y colegios en los años 2016 y 2018	28
3.3	Porcentaje de errores encontrados con herramientas de evaluación auto- mática	30
3.4	Porcentaje de errores por cada principio y páginas web analizadas	31
4.1	Diagrama de flujo de la metodología empleada en la revisión sistemática de la literatura	38
4.2	Diagrama de inclusión y exclusión de artículos en la revisión sistemática de la literatura (accesibilidad sitios web educativos)	45
4.3	Diagrama de inclusión y exclusión de artículos en la revisión sistemática de la literatura (accesibilidad sitios web universitarios)	58
4.4	Número de artículos publicados por año	65

Índice de figuras

4.5	Número de artículos publicados por revista	66
4.6	Número de artículos publicados en revistas indexadas en SJR y JCR	67
4.7	Diagrama de inclusión y exclusión de artículos en la revisión sistemática de la literatura (arquitectura de software de los sitios web educativos)	73
4.8	Componentes tecnológicos más utilizados en el desarrollo de software de sitios web educativos	79
5.1	Modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad web	82
5.2	Procedimiento del modelo de planificación de la evaluación	82
5.3	Proceso de ejecución de los KPI del plan de acción	83
6.1	Línea del tiempo de las publicaciones del compendio	87
18.1	Resultados a lo largo del tiempo de la evaluación de los sitios web universitarios en Estados Unidos	115

Índice de tablas

2.1	Revistas donde se publicaron los artículos de esta tesis doctoral	11
2.2	Congresos donde se publicaron los artículos de esta tesis doctoral . . .	12
2.3	Perfiles académicos del autor de la tesis	13
3.1	Principios, criterios de éxito y niveles de conformidad de WCAG 2.0 y WCAG 2.1	26
3.2	Errores de accesibilidad de los portales web de la ciudad de Cuenca . .	29
3.3	Errores de accesibilidad de los portales web de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito	29
3.4	Reporte del número de errores promedio de accesibilidad por principio, criterio de éxito y nivel de conformidad	32
3.5	Porcentaje de errores por criterio e indicador en los documentos Adobe PDF obtenidos de los portales web de las instituciones educativas de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito	34
3.6	Porcentaje de errores por criterio e indicador en los documentos de Microsoft Word obtenidos de los portales web de las instituciones educativas de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito	35
3.7	Porcentaje de errores por criterio e indicador en los documentos de Microsoft PowerPoint obtenidos de los portales web de las instituciones educativas de las ciudades de Cuenca y Guayaquil	35
4.1	Preguntas de investigación	40
4.2	Cadena de búsqueda	41

Índice de tablas

4.3	Lista de comprobación para la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados	43
4.4	Resultados de la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados, ordenados por año de publicación	48
4.5	Preguntas de investigación relacionadas con la cobertura de las universidades evaluadas - ¿Qué se evaluó?	53
4.6	Preguntas de investigación relacionadas con las normas, leyes y métodos aplicados en la selección - ¿Qué normas se utilizaron para la evaluación?	54
4.7	Preguntas de investigación relacionadas con los métodos, herramientas y tipos de usuarios que han evaluado la accesibilidad - ¿Qué métodos se utilizaron para la evaluación?	55
4.8	Preguntas de investigación relacionadas con los errores de accesibilidad y los niveles de conformidad - ¿Qué resultados se obtuvieron?	55
4.9	Alcance de la búsqueda	56
4.10	Resultados de la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados, ordenados por año de publicación	64
4.11	Preguntas de investigación	69
4.12	Cadena de búsqueda	70
4.13	Lista de comprobación para la evaluación de calidad de los artículos seleccionados [39]	72
4.14	Resultados de la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados, ordenados por año de publicación	77

Resumen

La identidad y la imagen corporativa de las instituciones educativas se presentan al mundo a través de sus sitios web. En sus sitios web, las instituciones educativas publican su oferta académica, su misión, su visión, sus objetivos académicos, sus logros, sus reglamentos, sus noticias y toda la labor que las instituciones necesitan para darse a conocer a la sociedad. Por lo tanto, los sitios web educativos deben cumplir las normas de accesibilidad que permiten a las personas con y sin discapacidades utilizar la Web. Teniendo en cuenta que las personas con discapacidad no son ajenas al uso de los sitios web educativos, en muchos casos, tienen que enfrentarse a nuevas barreras en lugar de experimentar beneficios. De ahí la importancia de la accesibilidad de los sitios web educativos.

La accesibilidad web significa que las personas con algún tipo de discapacidad puedan hacer uso de la Web en las mismas condiciones que el resto de las personas sin discapacidad. Cuando hablamos de accesibilidad web, nos referimos a un diseño y desarrollo web que permite a las personas con discapacidad percibir, entender, navegar e interactuar con la Web. La accesibilidad web también beneficia a otras personas, incluidas las personas mayores cuyas capacidades han disminuido como consecuencia de la edad. Además, la Web se ha convertido en un recurso esencial en la actividad humana: la educación, el empleo, el gobierno, el comercio, la salud, el entretenimiento y muchas otras cosas se benefician de la Web como plataformas de comunicación e interacción.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de esta tesis es proponer un modelo de proceso para que las organizaciones evalúen continuamente la accesibilidad de sus sitios web para hacerlos más accesibles. Esta tesis se ha desarrollado en tres etapas: caracterización del problema, revisión sistemática de la literatura y propuesta del modelo de proceso.

En la caracterización del problema, los sitios web se evaluaron con herramientas automáticas en línea utilizando las Pautas de Accesibilidad al Contenido en la Web (*Web Content Accessibility Guidelines, WCAG*) 2.0 con niveles de conformidad A y AA y las WCAG 2.1 con nivel de conformidad AAA. Los resultados evidenciaron que el mayor número de errores de accesibilidad se encuentran en los principios robusto y perceptible. También, que los 1,353 sitios web y 463 documentos electrónicos analizados

tenían barreras de accesibilidad. En esta etapa se publicaron siete artículos científicos.

En el estudio del estado de la cuestión, se determinó que los sitios web que fueron evaluados en los artículos analizados no eran accesibles. En esta etapa se publicaron tres artículos de revisión sistemática de la literatura cuyos principales resultados se presentan a continuación:

1. En 20 de los 25 trabajos, los resultados muestran que la accesibilidad de los sitios web se evalúa con herramientas automáticas; en 2 trabajos, se evalúa con usuarios reales, y en los otros 3 trabajos con herramientas automáticas, usuarios reales y expertos. También se observa que todos los sitios web educativos analizados en los trabajos necesitan corregir errores.
2. Los resultados presentan el análisis y la síntesis de las evaluaciones de 9,140 universidades de 67 países. Los recursos evaluados son 38,416 páginas web, 91,421 vídeos de YouTube y 28,395 documentos PDF. La evaluación utiliza métodos manuales, métodos con herramientas automáticas y una combinación de ambos métodos. La mayoría de los sitios web se evaluaron utilizando las normas ISO/IEC 40500:2012 y la Section 508.
3. Los resultados presentan experimentos narrados de proyectos o individuos que buscan mejorar el aprendizaje colaborativo en el área educativa. Las arquitecturas de software propuestas no contemplan leyes o normas de calidad para el acceso universal.

En la tercera y última etapa, se desarrolla un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de sitios web. El modelo de proceso consta de cuatro fases. La primera fase (Planear) define el problema de accesibilidad, su importancia y las WCAG con las que se evaluará. También determina la situación actual de los sitios web, las posibles causas de los problemas de accesibilidad, clasifica los criterios de éxito por principios, pautas y niveles de conformidad para desarrollar el plan de solución y el plan de acción. La segunda fase (Hacer) permite la ejecución del plan de acción para corregir los problemas de accesibilidad. En esta fase, debemos realizar pruebas continuas con herramientas de evaluación automática, usuarios finales y expertos para corroborar que los cambios han surtido efecto. La tercera fase (Verificar) nos permite medir el cumplimiento y el incumplimiento de los indicadores clave de rendimiento (*Key Performance Indicator*, KPI) definidos. En esta fase también se determinan los motivos de incumplimiento. La cuarta y última fase (Actuar) documenta las soluciones aprendidas para incluirlas en futuros desarrollos. Esta investigación da como resultado el modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad web y su comprobación mediante un estudio de caso para corroborar su funcionalidad y aplicabilidad.

Abstract

Educational institutions' identity and corporate image are presented to the world through their websites. On their websites, educational institutions publish their academic offerings, mission, vision, academic goals, achievements, regulations, news, and all the work that the institutions need to make known to society. Therefore, educational websites must meet accessibility standards that allow people with and without disabilities to use the web. Considering that people with disabilities are no strangers to the use of educational websites, in many cases, they have to face new barriers instead of experiencing benefits. Hence the importance of accessibility of educational websites.

Web accessibility means that people with disabilities can use the Web under the same conditions as others without disabilities. When we talk about web accessibility, we mean web design and development that enables people with disabilities to perceive, understand, navigate and interact with the Web. Web accessibility also benefits others, including older people whose abilities have diminished as a result of age. In addition, the Web has become an essential resource in human activity: education, employment, government, commerce, health, entertainment, and many other things benefit from the Web as a platform for communication and interaction.

Considering the above, the objective of this thesis is to propose a process model for organizations to continuously check the accessibility of their websites to make them more accessible. In three stages, this thesis was developed: characterization of the problem, systematic literature review, and the proposal of the process model.

In the problem characterization, the websites were evaluated with automatic online tools using Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0 with conformance levels A and AA and WCAG 2.1 with conformance level AAA. The results showed that the most accessibility errors were found in the robust and perceivable principles. Also, the 1,353 websites and 463 electronic documents analyzed had accessibility barriers. Seven scientific articles were published in this stage.

In the study of state of the art, it was determined that the websites evaluated in the articles analyzed were not accessible. At this stage, three systematic literature review articles were published, the main results of which are presented below:

Abstract

1. In 20 of the 25 papers, the results show that the accessibility of websites is evaluated with automatic tools; in 2 papers, it was evaluated with real users, and in the other three papers with automatic tools, real users, and experts. It is also observed that all the educational websites analyzed in the papers need to correct errors.
2. The results present the analysis and synthesis of the evaluations of 9,140 universities from 67 countries. The evaluated resources are 38,416 web pages, 91,421 YouTube videos, and 28,395 PDF documents. The assessment uses manual methods, methods with automatic tools, and a combination of both methods. Most of the websites were evaluated using ISO/IEC 40500:2012 and Section 508 standards.
3. The results present narrated experiments of projects or individuals that seek to improve collaborative learning in the educational area. The proposed software architectures do not contemplate laws or quality standards for universal access.

In the third and final stage, a process model is developed for the continuous evaluation of the accessibility of websites. The process model consists of four phases. The first phase (Plan) defines the accessibility problem, its importance, and the WCAG against which it will be evaluated. It also determines the current situation of the Web sites, the possible causes of accessibility problems, classifies the success criteria by principles, guidelines, and conformance levels to develop the solution plan and the action plan. The second phase (Do) allows the execution of the action plan to correct the accessibility problems. In this phase, we must perform continuous testing with automatic evaluation tools, end-users, and experts to corroborate that the changes have taken effect. The third phase (Check) allows us to measure compliance and non-compliance with the defined Key Performance Indicators (KPI). The reasons for non-compliance are also determined at this phase. The fourth and final phase (Act) documents the solutions learned for inclusion in future developments. This research results in the process model for ongoing evaluation of continuous web accessibility and its testing through a case study to corroborate its functionality and applicability.

Resum

La identitat i la imatge corporativa de les institucions educatives es presenten al món a través dels seus llocs web. En els seus llocs web, les institucions educatives publiquen la seva oferta acadèmica, la seva missió, la seva visió, els seus objectius acadèmics, els seus assoliments, els seus reglaments, les seves notícies i tota la labor que les institucions necessiten per a donar-se a conèixer a la societat. Per tant, els llocs web educatius han de complir les normes d'accessibilitat que permeten a les persones amb i sense discapacitats utilitzar la web. Tenint en compte que les persones amb discapacitat no són alienes a l'ús dels llocs web educatius, en molts casos, han d'enfrontar-se a noves barreres en lloc d'experimentar beneficis. D'aquí la importància de l'accessibilitat dels llocs web educatius.

L'accessibilitat web significa que les persones amb alguna mena de discapacitat puguin fer ús de la web en les mateixes condicions que la resta de les persones sense discapacitat. Quan parlem d'accessibilitat web, ens referim a un disseny i desenvolupament web que permet a les persones amb discapacitat percebre, entendre, navegar i interactuar amb la Web. L'accessibilitat web també beneficia a altres persones, incloses les persones majors les capacitats de les quals han disminuït com a conseqüència de l'edat. A més, la Web s'ha convertit en un recurs essencial en l'activitat humana: l'educació, l'ocupació, el govern, el comerç, la salut, l'entreteniment i moltes altres coses es beneficien de la Web com a plataformes de comunicació i interacció.

Tenint en compte l'anterior, l'objectiu d'aquesta tesi és proposar un model de procés perquè les organitzacions evaluen contínuament l'accessibilitat dels seus llocs web per a fer-los més accessibles. Aquesta tesi s'ha desenvolupat en tres etapes: caracterització del problema, estat de l'art i proposta del model de procés.

En la caracterització del problema, els llocs web es van avaluar amb eines automàtiques en línia utilitzant les Pautes d'Accessibilitat al Contingut en la Web (WCAG) 2.0 amb nivells de conformitat A i AA i les WCAG 2.1 amb nivell de conformitat AAA. Els resultats van evidenciar que el major nombre d'errors d'accessibilitat es trobaren en els principis robust i perceptible. També, que els 1,353 llocs web i 463 documents electrònics analitzats tenien barreres d'accessibilitat. En aquesta etapa es van publicar set articles científics.

En l'estudi de l'estat de la qüestió, es va determinar que els llocs web que van ser avaluats en els articles analitzats no eren accessibles. En aquesta etapa es van publicar tres articles de revisió sistemàtica de la literatura els principals resultats de la qual es presenten a continuació:

1. En 20 dels 25 treballs, els resultats mostren que l'accessibilitat dels llocs web s'avalua amb eines automàtiques; en 2 treballs, es va avaluar amb usuaris reals, i en els altres 3 treballs amb eines automàtiques, usuaris reals i experts. També s'observa que tots els llocs web educatius analitzats en els treballs necessiten corregir errors.
2. Els resultats presenten l'anàlisi i la síntesi de les avaluacions de 9,140 universitats de 67 països. Els recursos avaluats són 38,416 pàgines web, 91,421 vídeos de YouTube i 28,395 documents PDF. L'avaluació utilitza mètodes manuals, mètodes amb eines automàtiques i una combinació de tots dos mètodes. La majoria dels llocs web es van avaluar utilitzant les normes ISO/IEC 40500:2012 i la Section 508.
3. Els resultats presenten experiments narrats de projectes o individus que busquen millorar l'aprenentatge col·laboratiu en l'àrea educativa. Les arquitectures de programari proposades no contempnen lleis o normes de qualitat per a l'accés universal.

En la tercera i última etapa, es desenvolupa un model de procés per a l'avaluació contínua de l'accessibilitat de llocs web. El model de procés consta de quatre fases. La primera fase (Planejar) defineix el problema d'accessibilitat, la seva importància i les WCAG amb les quals s'avaluarà. També determina la situació actual dels llocs web, les possibles causes dels problemes d'accessibilitat, classifica els criteris d'èxit per principis, pautes i nivells de compliment per a desenvolupar el pla de solució i el pla d'acció. La segona fase (Fer) permet l'execució del pla d'acció per a corregir els problemes d'accessibilitat. En aquesta fase, hem de realitzar proves contínues amb eines d'avaluació automàtica, usuaris finals i experts per a corroborar que els canvis han fet efecte. La tercera fase (Verificar) ens permet mesurar el compliment i l'incompliment dels indicadors clau de rendiment (KPI) definits. En aquesta fase també es determinen els motius d'incompliment. La quarta i última fase (Actuar) documenta les solucions apreses per a incloure-les en futurs desenvolupaments. Aquesta recerca dóna com a resultat el model de procés per a l'avaluació contínua de l'accessibilitat web i la seva comprovació mitjançant un estudi de cas per a corroborar la seva funcionalitat i aplicabilitat.

Acrónimos

CRPD (Convention on the Rights of Persons with Disabilities) Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad.

CSS (Cascading Style Sheets) Hojas de estilo en cascada.

DOAJ (Directory of Open Access Journals) Directorio de revistas de acceso abierto.

GS (Google Scholar) Google académico.

HCI (Human-Computer Interaction) Interacción persona-computadora.

HTML (HyperText Markup Language) Lenguaje de marcado de hipertexto.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

IET (Institution of Engineering and Technology) Institución de Ingeniería y Tecnología.

IF (Impact Factor) Factor de impacto.

INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización.

ISO (International Organization for Standardization) Organización Internacional de Normalización.

ISSN (International Standard Serial Number) Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadadas.

JCR (Journal Citation Reports) Reportes de citación de revistas.

KPI (Key Performance Indicator) Indicador clave de rendimiento.

NTE Norma Técnica Ecuatoriana.

Acrónimos

PDF (Portable Document Format) Formato de documento portátil.

QA (Quality Assessment) Evaluación de calidad.

RTE Reglamento Técnico Ecuatoriano.

SJR (Scimago Journal Rank) Clasificación de revistas Scimago.

SLR (Systematic Literature Review) Revisión sistemática de la literatura.

TIC Tecnologías de la información y las comunicaciones.

TQM (Total Quality Management) Gestión de la calidad total.

W3C (World Wide Web Consortium) Consorcio de la World Wide Web.

WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web.

WCAG-EM (Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology) Metodología de Evaluación de Conformidad con la Accesibilidad en Sitios Web.

WOS (Web of Science) Web de la ciencia.

Parte I
SÍNTESIS

1 Introducción

1.1. Motivación

La Organización Mundial de la Salud, en su Informe Mundial sobre la Discapacidad de 2011, estima que “más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad, es decir, alrededor del 15 % de la población mundial (según las estimaciones de la población mundial de 2010). Esta estimación es más alta que las anteriores de la Organización Mundial de la Salud, que datan de la década de 1970 y sugerían alrededor del 10 %” [1, pp. 7]. Por lo tanto, se puede deducir que existe un incremento porcentual y progresivo de personas con discapacidad sobre el tiempo a nivel mundial.

Las personas con discapacidad se enfrentan cada día a la discriminación y a las barreras que les impiden participar en la sociedad en igualdad de condiciones con los demás [2]. Estas personas se ven privadas del derecho a participar en el sistema de educación general, conseguir un trabajo y vivir de forma independiente en la comunidad. Algunas de las barreras para la integración de las personas con discapacidad en la sociedad son [3]: el entorno físico, el transporte, la falta de herramientas y tecnologías de apoyo, la inaccesibilidad en la Web y en los documentos electrónicos, medios de comunicación inadecuados, entre otros.

Las Naciones Unidas en la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (*Convention on the Rights of Persons with Disabilities*, CRPD) [4] define el acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), incluida la Web, como un derecho humano básico. Además, en esta convención se definieron 50 artículos, de los cuales cuatro se describen a continuación por estar relacionados directamente con el tema de investigación de esta tesis doctoral:

- Artículo 9 - Accesibilidad, estipula que se debe “garantizar a las personas con discapacidad el acceso, en igualdad de condiciones con las demás, al entorno físico, al transporte, a la información y a las comunicaciones, incluidos los sistemas y las TIC”.
- Artículo 21 - Libertad de expresión y de opinión, y acceso a la información, afirma que los gobiernos deben instar “a las entidades privadas que prestan servicios al

1 Introducción

público en general, incluso a través de Internet, a que proporcionen información y servicios en formatos accesibles y utilizables por las personas con discapacidad”.

- Artículo 24 - Educación, exige “la inclusión y la participación de todas las personas en el entorno educativo. La educación es un derecho adquirido que tiene todo ser humano”.

Tim Berners-Lee, director del World Wide Web Consortium (W3C) e inventor de la World Wide Web [5], afirma que “el poder de la Web está en su universalidad. El acceso por cualquier persona, independientemente de la discapacidad que presente es un aspecto esencial” [6]. El W3C ha desarrollado las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (*Web Content Accessibility Guidelines*, WCAG), que son recomendaciones para hacer el contenido web más accesible. Las WCAG han ido evolucionando con el tiempo, inicia con la versión de las WCAG 1.0 [7] en 1999, las WCAG 2.0 [8] en 2008, las WCAG 2.1 [9] en 2018, el borrador de las WCAG 2.2 [10] en 2020 y el primer borrador de trabajo público de las WCAG 3.0 [11] en 2021, y cada una de ellas maximizan los esfuerzos en mejorar la accesibilidad en la Web. Las WCAG se han convertido en un referente mundial que se ha adoptado en varios países como política o ley de cumplimiento [12]. El cumplimiento de las WCAG en la Web facilita el acceso de personas con discapacidades a su contenido. La accesibilidad incluye discapacidades como ceguera, baja visión, sordera, pérdida auditiva, limitaciones de movimiento, problemas del lenguaje, problemas cognitivos, problemas de aprendizaje, fotosensibilidad y sus combinaciones.

Además, la pandemia del SARS-COV-2 ha cambiado y revolucionado el mundo, haciendo que los seres humanos seamos más dependientes de las TIC y de los equipos tecnológicos ya sea para el trabajo, la educación, la salud, la adquisición de suministros esenciales, entre otros [13]. La innovación tecnológica y la transformación digital han mejorado la calidad de vida de las personas. Los equipos electrónicos, internet, las TIC y la Web desempeñan un papel importante en este proceso de cambio; las personas con discapacidad no son ajenas a esta transformación, pero en muchos casos deben enfrentarse a nuevas barreras en lugar de experimentar beneficios. Por tal razón, es necesario que los sitios web cumplan con estándares de accesibilidad.

1.2. Objetivos

El objetivo general de esta tesis es:

Proponer un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad en los sitios web basado en ciclos iterativos e indicadores de calidad.

Los objetivos específicos que contribuyeron a la consecución del objetivo general son:

- OE1.** Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los sitios web con las WCAG y un nivel de conformidad A, AA y AAA.
- OE2.** Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los documentos electrónicos publicados en los sitios web con las WCAG.

- OE3. Analizar el estado de la cuestión de la accesibilidad en sitios web que despliegan contenidos educativos.
- OE4. Analizar el estado de la cuestión de la arquitectura de los sitios web que despliegan contenidos educativos.
- OE5. Proponer un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad en los sitios web.
- OE6. Corroborar la aplicabilidad del modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad en los sitios web.

1.3. Planificación del trabajo

Esta tesis doctoral se desarrolla en tres etapas. En la primera etapa se caracterizó el problema a través de la evaluación automática de sitios web y documentos electrónicos educativos publicados en la Web. Los sitios web educativos son considerados en esta investigación porque deben ser inclusivos en todos sus niveles, sin discriminación y con igualdad de oportunidades para las personas con y sin discapacidad [4]. Por lo tanto, la sitios web educativos es un importante referente para medir el impacto de la accesibilidad web en la inclusión de todos los individuos de la sociedad. En la segunda etapa se realizaron tres revisiones sistemáticas de la literatura (*Systematic Literature Review*, SLR) utilizando la metodología de Kitchenham [14]-[16] para identificar, analizar e interpretar los resultados de artículos científicos publicados sobre la accesibilidad web. Los hallazgos encontrados en las revisiones sistemáticas de la literatura permitieron determinar el problema o el vacío en la investigación en torno a la accesibilidad web. Finalmente, en la tercera etapa se desarrolló la propuesta de un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad web. Este modelo evalúa de forma continua los sitios web educativos y universitarios a través de ciclos iterativos e indicadores de calidad. La planificación o división del trabajo realizado se puede ver en la Figura 1.1.

1.4. Estructura del documento

Esta tesis doctoral se estructura en cuatro partes principales: 1) Síntesis, 2) Descripción del trabajo realizado, 3) Compendio de artículos y 4) Discusión y conclusiones. La primera parte (Síntesis) incluye el resumen de la tesis doctoral y engloba los siguientes capítulos:

Capítulo 1 Introducción, este capítulo incluye la motivación de la tesis doctoral, objetivos, método de trabajo, estructura de la tesis y convenciones de escritura.

Capítulo 2 Publicaciones y visibilidad, este capítulo incluye una descripción detallada de las publicaciones realizadas en revistas, congresos científicos y capítulos de libro. En cuanto a la visibilidad, se presenta una descripción y captura de pantalla de los perfiles académicos del autor de la tesis.

1 Introducción

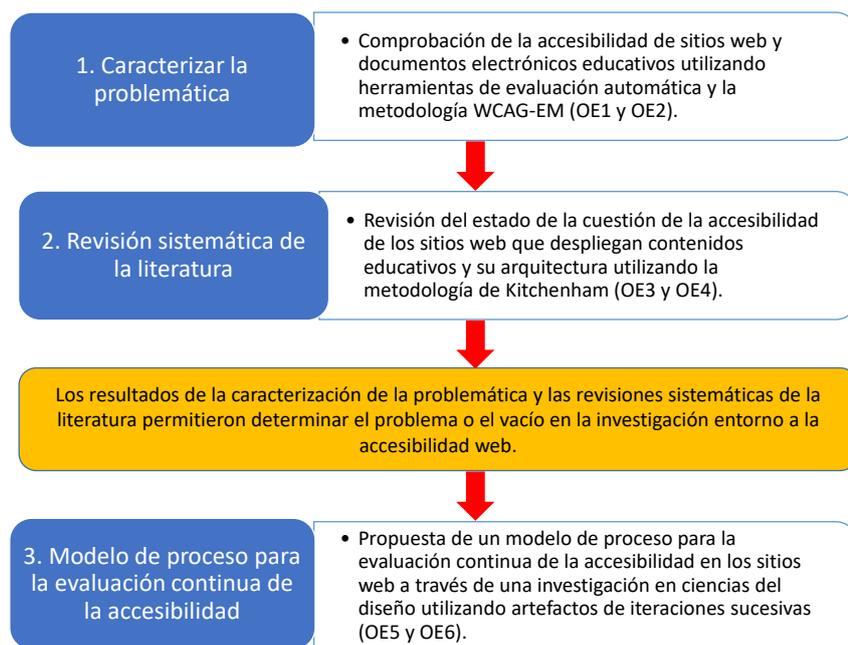


Figura 1.1: Etapas del desarrollo de la tesis doctoral

La segunda parte (Descripción del trabajo realizado) incluye la caracterización del problema, el estado de la cuestión de la accesibilidad web, los resultados obtenidos y engloba los siguientes capítulos:

Capítulo 3 Caracterización del problema, este capítulo incluye la evaluación de la accesibilidad de los sitios web utilizando las WCAG con los niveles de conformidad A, AA y AAA y los documentos electrónicos.

Capítulo 4 Recopilación del estado de la cuestión, este capítulo incluye revisiones sistemáticas de la literatura sobre la accesibilidad y la arquitectura de software de los sitios web educativos.

Capítulo 5 Resultados obtenidos, este capítulo incluye los resultados del modelo de proceso propuesto para la evaluación continua de la accesibilidad de los sitios web.

La tercera parte (Compendio de artículos) incluye las publicaciones que permitieron el cumplimiento de los objetivos de la tesis doctoral por compendio de artículos y engloba los siguientes capítulos:

Capítulo 6 Compendio, este capítulo incluye la línea del tiempo de los artículos publicados en revistas y congresos en los cuatro años del doctorado.

Capítulo 7 Retrospective analysis of accessibility of the educational web portals: the Ecuadorian case, este capítulo incluye el artículo publicado en el

Proceedings of the 13th International Technology, Education and Development Conference (INTED 2019), la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 8 Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador, este capítulo incluye el artículo publicado en la revista *Cátedra*, la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 9 Web accessibility in the web portals of the educational institutions of Ecuador. Preliminary analysis, este capítulo incluye el artículo publicado en el *Proceedings of the 11th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN19)*, la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 10 Accessibility analysis of electronic documents published in educational web portals: the Ecuadorian case, este capítulo incluye el artículo publicado en el *Proceedings of the 11th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN19)*, la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 11 Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012, este capítulo incluye el artículo publicado en la revista *RISTI: Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 12 Análisis de accesibilidad web en las instituciones educativas públicas y fiscomisionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012, este capítulo incluye el artículo publicado en el libro “Transformación digital en las organizaciones” por la editorial Centro de Investigación y Desarrollo Profesional (CIDEPRO), la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 13 Empirical studies on web accessibility of educational websites: a systematic literature review, este capítulo incluye el artículo publicado en la revista *IEEE Access*, la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 14 Systematic literature review on software architecture of educational websites, este capítulo incluye el artículo publicado en la revista *IET Software*, la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 15 Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review, este capítulo incluye el artículo publicado en la revista *Universal Access in the Information Society*, la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 16 Process model for continuous testing of web accessibility, este capítulo incluye el artículo publicado en la revista *IEEE Access*, la referencia, aporte y texto completo.

Capítulo 17 Evaluation of the accessibility of the homepages of the web portals of Ecuadorian higher education institutions ranked in Webometrics, este capítulo incluye el artículo publicado en el *Proceedings of the 2021 IEEE Fifth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, la referencia, aporte y texto completo.

La cuarta parte (Discusión y conclusiones) incluye la discusión de la investigación, las conclusiones del trabajo y engloba los siguientes capítulos:

Capítulo 18 Discusión, este capítulo incluye la discusión de la investigación.

Capítulo 19 Conclusiones, este capítulo incluye las conclusiones, contribuciones y trabajos futuros.

1.5. Convenciones de escritura

En esta tesis doctoral se hace uso de varios acrónimos provenientes de estándares de accesibilidad web creados por la W3C, organismos de cooperación internacional, leyes de discapacidad, herramientas automáticas de evaluación de la accesibilidad web, componentes tecnológicos, entre otros. El formato utilizado es escribir el texto completo de las siglas de los acrónimos cuando aparece por primera vez, seguido de su acrónimo entre paréntesis.

Algunas de las figuras que conforman el compendio provienen de los artículos publicados. Por tal razón, varias de ellas están en el idioma inglés. Además, se utilizan algunos acrónimos en inglés ya que son de uso común en la literatura científica. Por ejemplo, WCAG 2.1, acrónimo de *Web Content Accessibility Guidelines* 2.1. También, las palabras en idiomas distintos al castellano se han escrito con letra cursiva, por ejemplo, *Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology*.

Según el lugar de origen del autor (Ecuador), se prefieren las palabras más utilizadas en América del Sur cuando hay sinónimos. En las cifras numéricas la coma se utiliza como separador de miles y el punto como separador de decimales, por ejemplo, 12,903.45.

2 Publicaciones y visibilidad

2.1. Publicaciones principales

En este capítulo se presentan los artículos científicos publicados como resultado de los cuatro años de investigación (2018-2019, 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022) a lo largo del desarrollo de la tesis doctoral. Como resultado del cumplimiento de los objetivos de esta tesis se publicaron un total de 11 artículos. Estos artículos fueron publicados en revistas científicas con índice *Journal Citation Reports* (JCR) y congresos que tienen un proceso de revisión por pares. Con respecto a los artículos publicados en revistas, en el 2019 se publicaron dos artículos: uno en una revista que está indexada en *Google Scholar* (GS), *Directory Open Access Journal* (DOAJ) y Latindex Catálogo 2.0; el otro artículo en una revista indexada en *Scimago Journal Rank* (SJR) con cuartil 4 (Q4). En el 2020 se publicó un artículo en una revista con índice JCR cuartil 2 (Q2). En el 2021 se publicaron tres artículos en revistas con índice JCR: dos en cuartil 2 (Q2) y uno en cuartil 3 (Q3). Con respecto a los artículos publicados en congresos, cuatro artículos fueron publicados en actas de congresos, de los cuales tres están indexados en la *Web of Science* (WOS) y GS y uno está indexado en Scopus y GS. El detalle de las publicaciones se presenta a continuación:

Revistas (6):

1. M. Campoverde-Molina y L. Valverde (2019) [17].
2. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde (2019) [18].
3. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García (2020) [19].
4. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde (2021) [20].
5. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde (2021) [21].
6. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde (2021) [22].

Congresos (4):

1. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde (2019) [23].

2 Publicaciones y visibilidad

2. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García (2019) [24].
3. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García (2019) [25].
4. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde (2021) [26].

Capítulos de libro (1):

1. M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García (2019) [27].

2.1.1. Revistas

Un total de seis artículos científicos han sido publicados en revistas. Cuatro artículos han sido publicados en revistas con indicios de calidad JCR, tres en el cuartil 2 (Q2) y uno en el cuartil 3 (Q3). Un artículo ha sido publicado en una revista con indicio de calidad SJR en el cuartil 4 (Q4). En la Tabla 2.1 se muestra una lista de las revistas donde se han publicado los artículos científicos de la tesis. Esta lista contiene un identificador único, el nombre de la revista, el ISSN, el país de la revista, el indicio de calidad JCR de la revista (JCR IF), el indicio de calidad SJR, indexación y la fecha de publicación de los artículos. El orden en que se presentan los artículos está determinado por la fecha de publicación:

1. “Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador” [17]. Este artículo fue publicado en la revista *Cátedra*. En el capítulo 8 se presenta el artículo a texto completo.
2. “Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012” [18]. Este artículo fue publicado en la revista *RISTI: Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*. En el capítulo 11 se presenta el artículo a texto completo.
3. “Empirical Studies on Web Accessibility of Educational Websites: A Systematic Literature Review” [19]. Este artículo fue publicado en la revista *IEEE Access*. En el capítulo 13 se presenta el artículo a texto completo.
4. “Systematic literature review on software architecture of educational websites” [20]. Este artículo fue publicado en la revista *IET Software*. En el capítulo 14 se presenta el artículo a texto completo.
5. “Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review” [21]. Este artículo fue publicado en la revista *Universal Access in the Information Society*. En el capítulo 15 se presenta el artículo a texto completo.
6. “Process model for continuous testing of web accessibility” [22]. Este artículo fue publicado en la revista *IEEE Access*. En el capítulo 16 se presenta el artículo a texto completo.

Id	Revista	JCR IF	SJR	Indexación	Fecha
J1	Revista Cátedra. ISSN: 2631-2875. Ecuador	S/N	S/N	DOAJ, GS, Latindex	29/05/2019
J2	RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao. ISSN: 1646-9895. Portugal	S/N	0.14 - Q4	GS, Scopus	02/08/2019
J3	IEEE Access. ISSN: 2169-3536. Estados Unidos	3.367 - Q2	0.59 - Q1	GS, Scopus, WOS	14/05/2020
J4	IET Software. ISSN: 1751-8806. Reino Unido	1.363 - Q3	0.31 - Q3	GS, WOS	21/04/2021
J5	Universal Access in the Information Society. ISSN: 1615-5297. Alemania	3.078 - Q2	0.49 - Q2	GS, Scopus, WOS	06/07/2021
J6	IEEE Access. ISSN: 2169-3536. Estados Unidos	3.367 - Q2	0.59 - Q1	GS, Scopus, WOS	28/09/2021

Tabla 2.1: Revistas donde se publicaron los artículos de esta tesis doctoral

2.1.2. Congresos

Un total de cuatro artículos científicos han sido publicados en las actas de congresos internacionales. De los cuatro artículos publicados en congresos, tres están indexados en GS y WOS y uno en GS y Scopus. En la Tabla 2.2 se muestra una lista de los congresos donde se han publicado los artículos científicos de la tesis. Esta lista contiene un identificador único, el nombre del congreso, indexación, la ciudad y país donde se realizó el congreso y la fecha de celebración de los congresos. El orden en que se presentan los artículos está determinado por la fecha de celebración de los congresos:

1. “Retrospective Analysis of Accessibility of the Educational Web Portals: The Ecuadorian Case” [23]. En la Tabla 2.2, fila C1, podemos encontrar los datos de la publicación de este artículo. En el capítulo 7 se presenta el artículo a texto completo.
2. “Web Accessibility in the Web Portals of the Educational Institutions of Ecuador. Preliminary Analysis” [25]. En la Tabla 2.2, fila C3, podemos encontrar los datos de la publicación de este artículo. En el capítulo 9 se presenta el artículo a texto completo.
3. “Accessibility Analysis of Electronic Documents Published in Educational Web Portals: The Ecuadorian Case” [24]. En la Tabla 2.2, fila C2, podemos encontrar los datos de la publicación de este artículo. En el capítulo 10 se presenta el artículo a texto completo.

Id	Congreso	Indexación	Ciudad/País	Fecha
C1	INTED2019, 13th International Technology, Education and Development Conference	GS, WOS	Valencia, España	11-13/03/2019
C2	EDULEARN19, 11th International Conference on Education and New Learning Technologies	GS, WOS	Palma, España	01-03/07/2019
C3	EDULEARN19, 11th International Conference on Education and New Learning Technologies	GS, WOS	Palma, España	01-03/07/2019
C4	ETCM, 2021 IEEE Fifth Ecuador Technical Chapters Meeting	GS, Scopus	Cuenca, Ecuador	12-15/10/2021

Tabla 2.2: Congresos donde se publicaron los artículos de esta tesis doctoral

4. “Evaluation of the Accessibility of the Homepages of the Web Portals of Ecuadorian Higher Education Institutions Ranked in Webometrics” [26]. En la Tabla 2.2, fila C4, podemos encontrar los datos de la publicación de este artículo. En el capítulo 17 se presenta el artículo a texto completo.

2.1.3. Capítulos de libro

En esta subsección se lista un capítulo de libro publicado en el libro “Transformación digital en las organizaciones” por la editorial Centro de Investigación y Desarrollo Profesional (CIDPRO) - Babahoyo, Ecuador:

1. “Análisis de accesibilidad web en las instituciones educativas públicas y fisco-misionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012” [27]. En el capítulo 12 se presenta el capítulo de libro a texto completo.

2.2. Visibilidad

En el campo de la ciencia, es muy importante difundir los resultados de investigación de cualquier avance o descubrimiento a través de recursos colaborativos. Estos multiplican su visibilidad y citación de los trabajos de los investigadores. El autor de esta tesis doctoral ha visibilizado los resultados obtenidos del proceso de investigación en ocho perfiles académicos. Estos han permitido compartir los resultados de la investigación realizada durante los cuatro años del programa de doctorado. La Tabla 2.3 presenta un resumen de los perfiles académicos del autor de esta tesis.

Id	Perfil Académico	URL
P1	ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5647-5150
P2	Scopus	https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57211903375
P3	ResearchGate	https://www.researchgate.net/profile/Milton-Campoverde-Molina
P4	Publons	https://publons.com/researcher/1605772/milton-alfredo-campoverde-molina/
P5	IEEE Xplore	https://ieeexplore.ieee.org/author/37088407317
P6	Google Scholar	https://scholar.google.com.ec/citations?user=bHpOmtsAAAAJ&hl=es
P7	IEEE DataPort	https://ieee-dataport.org/authors/milton-campoverde-molina
P8	SciProfiles	https://sciprofiles.com/profile/1689770

Tabla 2.3: Perfiles académicos del autor de la tesis

2.2.1. Perfil en ORCID

Open Research and Contributor ID (ORCID) es un identificador único de investigador que evita coincidencias o similitudes de nombres personales vinculados a la autoría científica. Este proporciona un sitio donde registrar los datos académicos del investigador, empleo, producción científica, afiliación, etc. También, tiene interoperabilidad con otros sistemas de identificación como Scopus Author ID, ResearchID y SciProfiles. En la Figura 2.1 se puede ver una captura de pantalla del perfil en ORCID del autor de la tesis.

2.2.2. Perfil en Scopus

El perfil de autor en Scopus se crea automáticamente cuando un autor publica un artículo científico en revistas indexadas en Scopus. Este perfil ofrece una visión general de las métricas, los documentos y las citas de la investigación del autor a lo largo del tiempo. En la Figura 2.2 se puede ver una captura de pantalla del perfil en Scopus del autor de la tesis.

2.2.3. Perfil en ResearchGate

ResearchGate es una red académica y social para científicos e investigadores de cualquier área del conocimiento. Esta es una herramienta gratuita que ofrece la posibilidad de publicar artículos científicos, proyectos de investigación, hacer preguntas, compartir experiencias y encontrar colaboradores. En la Figura 2.3 se puede ver una captura de pantalla del perfil en ResearchGate del autor de la tesis.

iD
https://orcid.org/
0000-0001-5647-5150

Other IDs

ResearcherID: T-7643-2018
Scopus Author ID: 57211903375
SciProfiles: 1689770

Keywords

Accesibilidad Web, Educación, Ingeniería de Software

Countries

Ecuador

Is this you? [Sign in to start editing.](#) Printable version

Name
Milton Alfredo Campoverde Molina

Also known as
Milton Alfredo Campoverde Molina, Milton Alfredo Campoverde-Molina, M. A. Campoverde Molina, Milton Campoverde-Molina

Activities Collapse all

Employment (1) Sort

Universidad Católica de Cuenca: Cuenca, Azuay, EC

2009-04-01 to present | Docente Investigador (Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica) [Show more detail](#)
Employment

Source: Milton Alfredo Campoverde Molina

Education and qualifications (4) Sort

Universidad de las Fuerzas Armadas: Sangolqui, Pichincha, EC

2015-08-20 | MAGÍSTER EN EVALUACIÓN Y AUDITORÍA DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS (Posgrados) [Show more detail](#)
Education

Source: Milton Alfredo Campoverde Molina

Universidad de las Fuerzas Armadas: Sangolqui, Pichincha, EC

2014-11-20 | MAGÍSTER EN DOCENCIA UNIVERSITARIA (Posgrados) [Show more detail](#)
Education

Source: Milton Alfredo Campoverde Molina

Universidad Católica de Cuenca: Cuenca, Azuay, EC

2009-01-30 | INGENIERO DE SISTEMAS (Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica) [Show more detail](#)
Education

Source: Milton Alfredo Campoverde Molina

Universidad Católica de Cuenca: Cuenca, Azuay, EC

2007-10-12 | TECNÓLOGO ANALISTA DE SISTEMAS (Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica) [Show more detail](#)
Education

Source: Milton Alfredo Campoverde Molina

Works (25) Sort

Systematic literature review on software architecture of educational websites

IET Software
2021-08-21 | Journal article [Show more detail](#)
DOI: [10.1049/sfw2.12024](#)

Source: Crossref

Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review

Universal Access in the Information Society
2021-07-06 | Journal article [Show more detail](#)
DOI: [10.1007/s10209-021-00825-z](#)

Source: Crossref

Figura 2.1: Perfil en ORCID del autor de la tesis

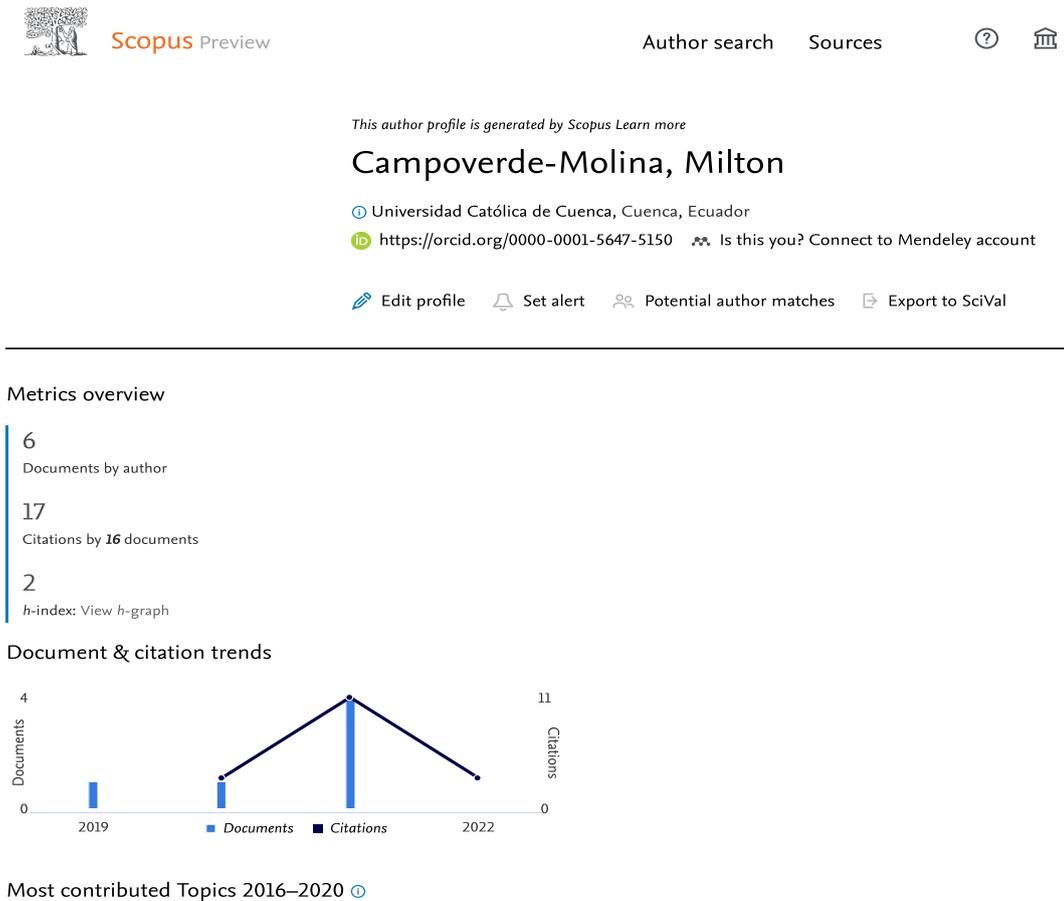


Figura 2.2: Perfil en Scopus del autor de la tesis

2.2.4. Perfil en Publons

Publons es una plataforma de la WOS gestionada por Clarivate. Esta tiene un sitio que agrupa las actividades de los investigadores, tales como publicaciones, revisiones por pares y edición de revistas. En la Figura 2.4 se puede ver una captura de pantalla del perfil en Publons del autor de la tesis.

2.2.5. Perfil en IEEE Xplore

IEEE Xplore es un servicio o una base de datos de IEEE dedicada a la difusión de información sobre avances tecnológicos. Además, tiene una plataforma web que permite el acceso a revistas, actas de reuniones, normas técnicas, libros electrónicos y cursos de formación, principalmente de ingeniería eléctrica, comunicaciones e informática. En la Figura 2.5 se puede ver una captura de pantalla del perfil en IEEE Xplore del autor de la tesis.

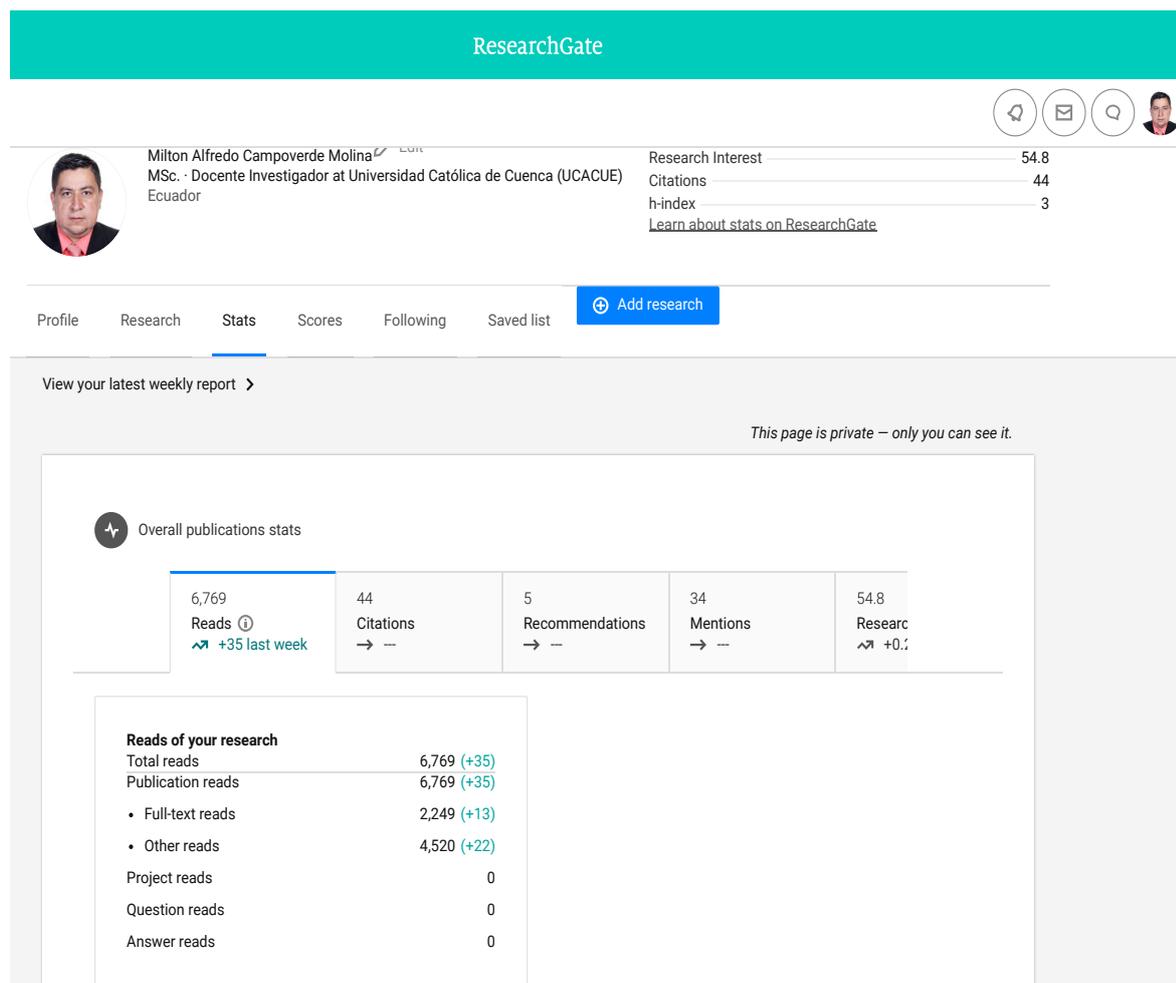


Figura 2.3: Perfil en ResearchGate del autor de la tesis

2.2.6. Perfil en Google Académico

Google Académico es un motor de búsqueda gratuito que permite encontrar documentos científicos y académicos de diferentes fuentes editoriales, como artículos, libros, manuales, resúmenes, tesis, entre otros. Además, permite que los autores de trabajos científicos y académicos puedan crear un perfil para hacer seguimiento de sus citas bibliográficas. También, presenta gráficamente el número de citas por año y los índices h e i10. En la Figura 2.6 se puede ver una captura de pantalla del perfil en Google Académico del autor de la tesis.

2.2.7. Perfil en IEEE DataPort

IEEE DataPort es una plataforma que permite a los usuarios o a las instituciones publicar conjuntos de datos de procesos investigativos. Estos datos por lo general sustentan resultados de investigación. Los usuarios de la plataforma pueden acceder, almacenar, descargar, buscar y administrar los datos. En la Figura 2.7 se puede ver

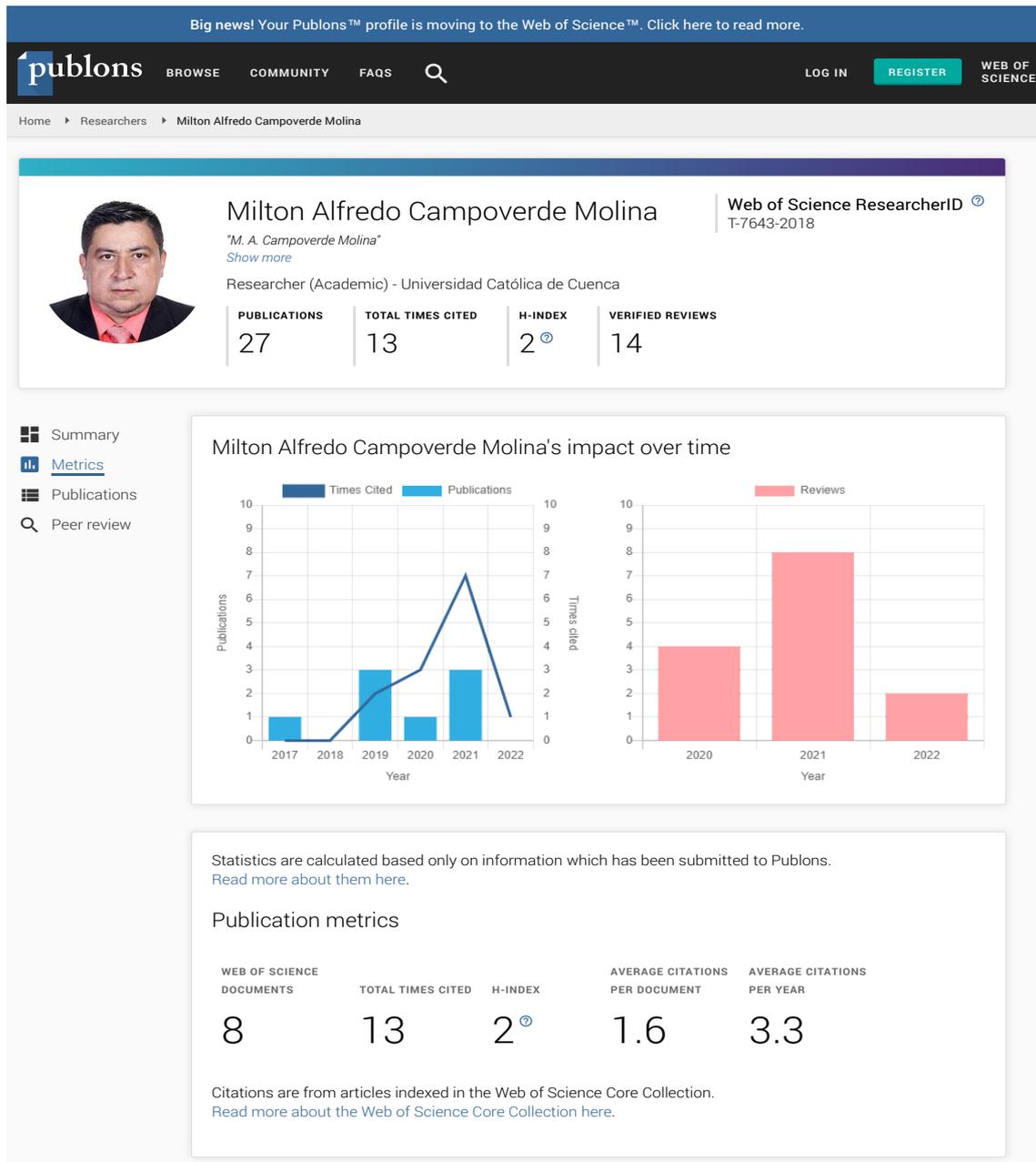


Figura 2.4: Perfil en Publons del autor de la tesis

una captura de pantalla del perfil en IEEE DataPort del autor de la tesis.

2.2.8. Perfil en SciProfiles

SciProfiles es una red social para investigadores y académicos. Esta mantiene el perfil del investigador actualizado con publicaciones y conferencias relevantes encontradas en la red. Además, proporciona una visión integral de la producción científica de los investigadores. En la Figura 2.8 se puede ver una captura de pantalla del perfil en

2 Publicaciones y visibilidad

The screenshot displays the IEEE Xplore profile for Milton Campoverde-Molina. The header includes the IEEE Xplore logo, navigation links (Browse, My Settings, Help), and an Institutional Sign In button. A search bar is present with the text 'All' and a search icon. Below the header, the profile information is organized into several sections:

- Profile Header:** A portrait of Milton Campoverde-Molina is shown on the left, with a 'Follow This Author' button below it. To the right, his name 'Milton Campoverde-Molina' is displayed with a plus icon and a social media icon.
- Affiliation:** 'Unidad Académica de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador'.
- Publication Topics:** A list of topics including 'Internet, handicapped aids, Web sites, educational institutions, Web design, computer aided instruction, distance learning, educational administrative data processing, further education, geriatrics, teaching, total quality'. A 'Show More' link is provided.
- Biography:** A detailed paragraph about his academic background, including his master's and Ph.D. degrees, and his current role as a Tenured Professor.
- Publications and Citations:** A summary box on the right shows 'Publications: 4' and 'Citations: 11'. Below this is a 'Publications by Year' bar chart showing 4 publications in 2020 and 11 in 2021.
- Co-Authors:** A list of co-authors: 'Llorenç Valverde Garcia, Sergio Luján-Mora, Llorenç Valverde'. A 'Show All Co-Authors (3)' link is also present.
- This Author's Publications:** A section with a search bar and 'Export' and 'Search History' options. It shows 'Showing 1-4 of 4' results. A filter for 'Conferences (1)' is active. The list includes:
 - Evaluation of the Accessibility of the Homepages of the Web Portals of Ecuadorian Higher Education Institutions Ranked in Webometrics:** 2021 IEEE Fifth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM). Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE.
 - Process Model for Continuous Testing of Web Accessibility:** 2021 IEEE Access. Year: 2021 | Volume: 9 | Journal Article | Publisher: IEEE.
 - Empirical Studies on Web Accessibility of Educational Websites: A Systematic Literature Review:** 2020 IEEE Access. Year: 2020 | Volume: 8 | Journal Article | Publisher: IEEE.
 - Erratum to "Process Model for Continuous Testing of Web Accessibility":** 2021 IEEE Access. Year: 2021 | Volume: 9 | Journal Article | Publisher: IEEE.

Figura 2.5: Perfil en IEEE Xplore del autor de la tesis

SciProfiles del autor de la tesis.



Milton Alfredo Campoverde Molina

Profesor titular en la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador
Dirección de correo verificada de ucacue.edu.ec

Accesibilidad Web Educación Ingeniería de Software

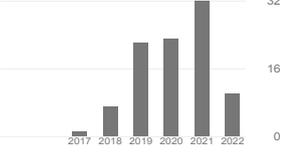
SEGUIR

CREAR MI PROPIO PERFIL

TÍTULO	CITADO POR	AÑO
Empirical studies on web accessibility of educational websites: A systematic literature review M Campoverde-Molina, S Luján-Mora, LV García IEEE Access 8, 91676-91700	28	2020
La accesibilidad web. Un reto en el entorno educativo ecuatoriano MC Molina Revista Científica y Tecnológica UPSE 3 (3), 90-98	13	2016
Intervención Temprana en Niños con Alteraciones en el Neurodesarrollo Desde la Sala Multisensorial. Un reto en la Academia Ecuatoriana. MF Cruz, MA Campoverde, SG Calle Latin American Journal of Computing 2 (3)	8	2015
SOFTWARE EDUCATIVO PARA EL DESARROLLO DE HABILIDADES DE LA CONDUCTA ADAPTATIVA EN PERSONAS CON DISCAPACIDAD INTELECTUAL MF Cruz, GV Zubizarreta, MAC Molina VARONA, 11	7	2015
Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500: 2012 M Campoverde-Molina, S Luján-Mora, L Valverde AISTI-Assoiação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação	4	2019
Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador MC Molina, L Valverde Cátedra 2 (2), 55-75	4	2019
'Web accessibility in the Web portals of the educational institutions of Ecuador. preliminary analysis M Campoverde-Molina, S Luján-Mora, LV García Proc. Edulearn, 4697-4707	3	2019
Papel de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en la apropiación social de la ciencia desde la universidad. AVT Suintaxi, IIO Fernández, MAC Molina, ADRG Mayorga Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores	3	2017
Accesibilidad web en las instituciones de salud de la ciudad de Cuenca. Análisis preliminar M Campoverde, J Vizñay, D Reyes Tecnología y Accesibilidad 1, 125-132	3*	2016
Process model for continuous testing of web accessibility M Campoverde-Molina, S Luján-Mora, L Valverde IEEE Access 9, 139576-139593	2	2021
Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review M Campoverde-Molina, S Luján-Mora, L Valverde Universal Access in the Information Society, 1-36	2	2021
Implementación de Data Mart, en Power BI, para el análisis de ventas a clientes, en los Eonegocios "Gransol" DMB Moyano, MAC Molina Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional 5 (1), 647-673	2	2020
Clasificación de frutas basadas en redes neuronales convolucionales JVA Alvarado, MAC Molina Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional 5 (1), 3-22	2	2020
Accessibility analysis of electronic documents published in educational web portals: the Ecuadorian case M Campoverde-Molina, S Luján-Mora, L Valverde-García EDULEARN19 Procedimientos, 4686-4696	2	2019
Proceso de Gestión de Asistencia Técnica. Caso de estudio: Hospital General Isidro Ayora de Loja, Ecuador GDS Paucar, MAC Molina Dominio de las ciencias 5 (3), 159-183	2	2019
Funciones de accesibilidad que logran y mejoran las competencias de uso y manejo de los teléfonos inteligentes JKV Durán, MAC Molina, DXP Japón CIIEE 2017	2	2017
Análisis bibliométrico de los cursos masivos abiertos en línea investigados en las Instituciones de Educación Superior del Ecuador MJ Zúñiga-Zhañay, M Campoverde-Molina, JJ Maldonado-Mahauad Dominio de las Ciencias 6 (4), 751-779	1	2020
Implementación de Data Mart, en Power BI, para el análisis de ventas a clientes, en los Eonegocios "Gransol" DM Bermeo-Moyano, MA Campoverde-Molina Polo del Conocimiento 5 (01), 647-673	1	2020
Implementación de inteligencia de negocios, en el inventario de la Cooperativa GranSol, con la herramienta Power BI SK Bermeo-Pérez, MA Campoverde-Molina Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación en ...	1	2020
Desarrollo de un sistema informático que sistematiza el proceso de adaptaciones curriculares de estudiantes con o sin necesidades educativas especiales del distrito 01d08 ... JPI Pesántez, MAC Molina Dominio de las Ciencias 6 (3), 815-835	1	2020

Citado por

	Total	Desde 2017
Citas	95	95
Índice h	4	4
Índice i10	2	2



Acceso público VER TODO

0 artículos no disponibles 1 artículo disponibles

Basado en requisitos de financiación

Coautores

-  Sergio Luján-Mora
Profesor titular en la Universidad...
-  Llorenç Valverde
Universitat de les Illes Balears
-  Irma Iluminada Orozco Fernández
Doctora en Ciencias Pedagógica...
-  Jorge Maldonado-Mahauad
Profesor Facultad de Ingeniería ...
-  ANA DEL ROCIO CORNEJO
MAYORGA
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MI...
-  Jenny Vizñay
Profesora Universidad Católica ...
-  Jonathan Aguilar-Alvarado
Universidad Técnica de Machala
-  Napoleón Gerardo Peralta Cobos
Universidad Nacional de Educa...

Figura 2.6: Perfil en Google Académico del autor de la tesis

IEEE DataPort™ DATASETS | COMPETITIONS | SUBMIT A DATASET | SEARCH

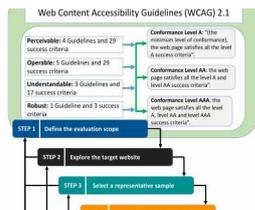
IEEE

Milton Campoverde Molina

First Name: Milton
Last Name: Campoverde Molina

Datasets & Competitions

A dataset on the evaluation of the accessibility of the home pages of the web portals of Ecuadorian higher education institutions ranked in Webometrics

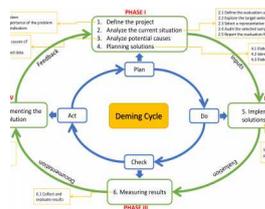


The Web is essential for education and e-learning. This situation has been boosted by migration to distance education due to the SARS-CoV-2. However, students with disabilities have been seriously affected because online teaching is very often not accessible. For this reason, this research aims to evaluate the accessibility of the home pages of the web portals of the Ecuadorian higher education institutions ranked in the Webometrics with the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1 of the World Wide Web Consortium.

Categories: Social Sciences

145 Views

A dataset on the application of the process model for continuous testing of web accessibility

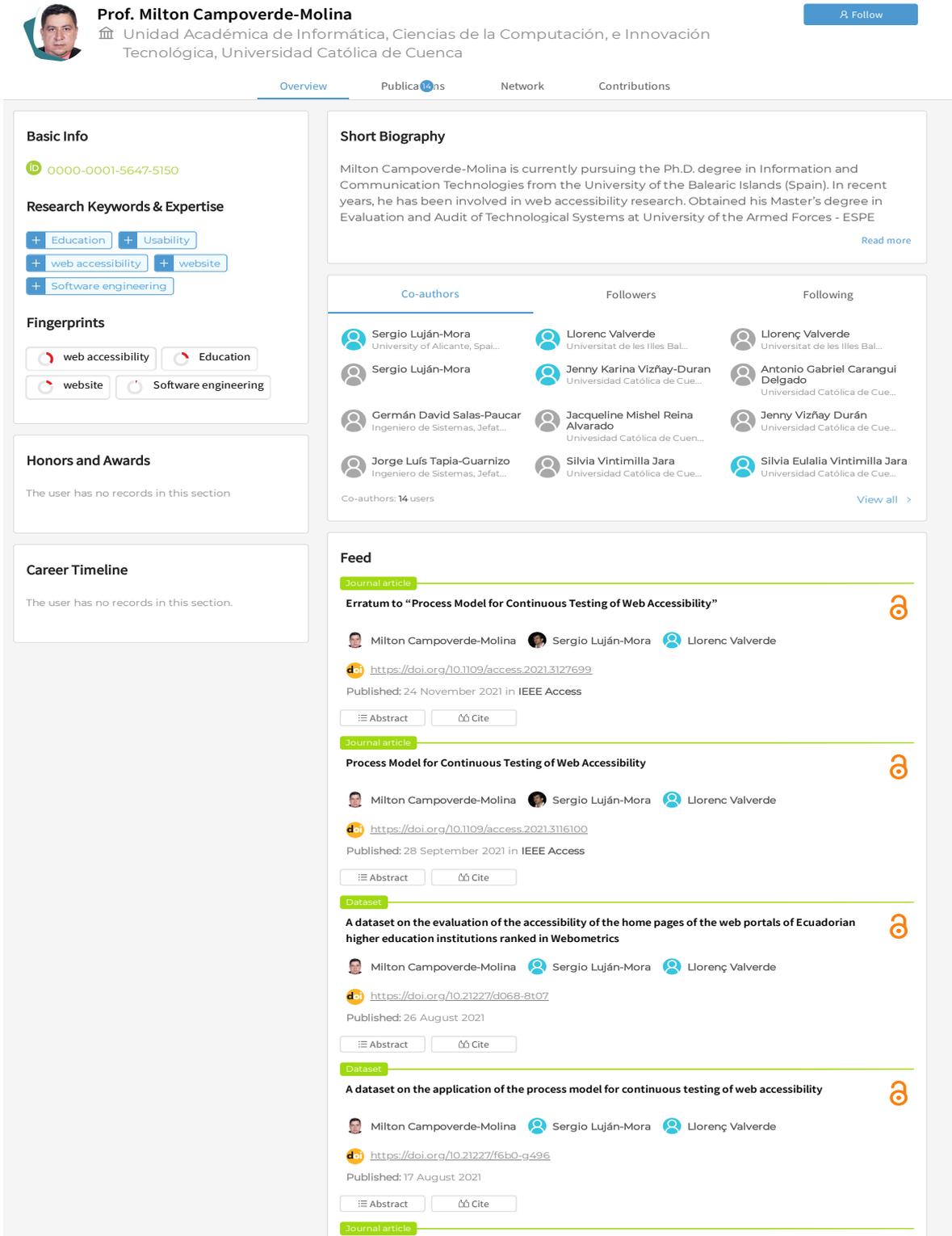


The lack of accessibility on websites can result in people with disabilities not accessing information online. Therefore, this research aims to create a process model for continuous web accessibility testing by adapting and customizing three methodologies: Deming cycle (Plan, Do, Check, Act), Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM), and Total Quality Management. The process model is composed of four phases.

Categories: Social Sciences

132 Views

Figura 2.7: Perfil en IEEE DataPort del autor de la tesis



Prof. Milton Campoverde-Molina Follow

Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica, Universidad Católica de Cuenca

Overview Publications Network Contributions

Basic Info

ORCID ID: 0000-0001-5647-5150

Research Keywords & Expertise

- Education
- Usability
- web accessibility
- website
- Software engineering

Fingerprints

- web accessibility
- Education
- website
- Software engineering

Honors and Awards

The user has no records in this section.

Career Timeline

The user has no records in this section.

Short Biography

Milton Campoverde-Molina is currently pursuing the Ph.D. degree in Information and Communication Technologies from the University of the Balearic Islands (Spain). In recent years, he has been involved in web accessibility research. Obtained his Master's degree in Evaluation and Audit of Technological Systems at University of the Armed Forces - ESPE

[Read more](#)

Co-authors

- Sergio Luján-Mora (University of Alicante, Spai...)
- Sergio Luján-Mora
- Germán David Salas-Paucar (Ingeniero de Sistemas, Jefat...)
- Jorge Luís Tapia-Cuarnizo (Ingeniero de Sistemas, Jefat...)

Followers

- Llorenç Valverde (Universitat de les Illes Bal...)
- Jenny Karina Vizñay-Duran (Universidad Católica de Cuen...)
- Jacqueline Mishel Reina Alvarado (Univesidad Católica de Cuen...)
- Silvia Vintimilla Jara (Universidad Católica de Cuen...)

Following

- Llorenç Valverde (Universitat de les Illes Bal...)
- Antonio Gabriel Caranguí Delgado (Universidad Católica de Cuen...)
- Jenny Vizñay Durán (Universidad Católica de Cuen...)
- Silvia Eulalia Vintimilla Jara (Universidad Católica de Cuen...)

Co-authors: 14 users [View all >](#)

Feed

Journal article

Erratum to "Process Model for Continuous Testing of Web Accessibility"

Milton Campoverde-Molina Sergio Luján-Mora Llorenç Valverde

<https://doi.org/10.1109/access.2021.3127699>

Published: 24 November 2021 in IEEE Access

Abstract Cite

Journal article

Process Model for Continuous Testing of Web Accessibility

Milton Campoverde-Molina Sergio Luján-Mora Llorenç Valverde

<https://doi.org/10.1109/access.2021.3116100>

Published: 28 September 2021 in IEEE Access

Abstract Cite

Dataset

A dataset on the evaluation of the accessibility of the home pages of the web portals of Ecuadorian higher education institutions ranked in Webometrics

Milton Campoverde-Molina Sergio Luján-Mora Llorenç Valverde

<https://doi.org/10.21227/d068-8t07>

Published: 26 August 2021

Abstract Cite

Dataset

A dataset on the application of the process model for continuous testing of web accessibility

Milton Campoverde-Molina Sergio Luján-Mora Llorenç Valverde

<https://doi.org/10.21227/f6b0-g496>

Published: 17 August 2021

Abstract Cite

Journal article

Figura 2.8: Perfil en SciProfiles del autor de la tesis

Parte II

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

3 Caracterización del problema

Las WCAG tienen principios, directrices, criterios de éxito y niveles de conformidad (A, AA y AAA). En la Tabla 3.1 se muestra un resumen de las versiones 2.0 y 2.1 de las WCAG que son utilizadas en la evaluación de los sitios web. Un punto clave a tener en cuenta es que la versión WCAG 2.1 ha incluido completamente la WCAG 2.0, lo que significa que si los sitios web son conformes con la WCAG 2.1, también lo son con la WCAG 2.0. Además, las WCAG 2.0 en 2012 fue declarada como norma internacional ISO/IEC 40500:2012 [28].

Por otra parte, para que un sitio web cumpla con las WCAG 2.1 debe cumplir en su totalidad con los niveles de conformidad (A, AA y AAA). El nivel mínimo A (30 criterios de éxito), AA (50 criterios de éxito: 30 nivel de conformidad A más 20 nivel de conformidad AA) y AAA (78 criterios de éxito: 30 nivel de conformidad A, 20 nivel de conformidad AA y 28 nivel de conformidad AAA).

El problema de investigación se caracterizó a través de la evaluación de la accesibilidad de sitios web educativos con un nivel de conformidad A; sitios web universitarios con un nivel de conformidad AA y AAA; y los documentos electrónicos publicados en los portales web académicos. Los sitios web y documentos electrónicos seleccionados para la evaluación de la accesibilidad fueron de Ecuador. El Ecuador en el 2014 [29] aprobó la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN ISO/IEC 40500:2012 que es una traducción exacta de las recomendaciones de las WCAG 2.0 del W3C y para controlar su cumplimiento, ha creado el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) INEN 288 “accesibilidad para el contenido web” [30]. Esta norma se aplica a los sitios web del sector público y privado que prestan servicios públicos. Estos sitios web deben cumplir plenamente con un nivel de conformidad A hasta el 8 de agosto de 2018 (primera transitoria) y con un nivel de conformidad AA hasta el 8 de agosto de 2020 (segunda transitoria), de acuerdo a lo establecido en el RTE INEN 288.

La Metodología de Evaluación de Conformidad con la Accesibilidad en Sitios Web (*Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology*, WCAG-EM) se utilizó para la evaluación de los sitios web y documentos electrónicos. Esta metodología consta de cinco pasos:

3 Caracterización del problema

WCAG	Principios	Criterios de éxito	Niveles de conformidad
WCAG 2.0	Perceptible: 4 pautas	9	A
		5	AA
		8	AAA
	Total:	22	
	Operable: 4 pautas	9	A
		3	AA
		8	AAA
	Total:	20	
	Comprensible: 3 pautas	5	A
		5	AA
		7	AAA
	Total:	17	
Robusto: 1 pauta	2	A	
	0	AA	
	0	AAA	
Total:	2		
Total criterios de éxito		61	
WCAG 2.1	Perceptible: 4 pautas	9	A
		11	AA
		9	AAA
	Total:	29	
	Operable: 5 pautas	14	A
		3	AA
		12	AAA
	Total:	29	
	Comprensible: 3 pautas	5	A
		5	AA
		7	AAA
	Total:	17	
Robusto: 1 pauta	2	A	
	1	AA	
	0	AAA	
Total:	3		
Total criterios de éxito		78	

Tabla 3.1: Principios, criterios de éxito y niveles de conformidad de WCAG 2.0 y WCAG 2.1

3.1 Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad A

1. Definir el alcance de la evaluación.
2. Explorar el sitio web objetivo.
3. Seleccionar una muestra representativa.
4. Auditar la muestra seleccionada.
5. Informar los resultados

La interrelación de los pasos puede verse en la Figura 3.1.

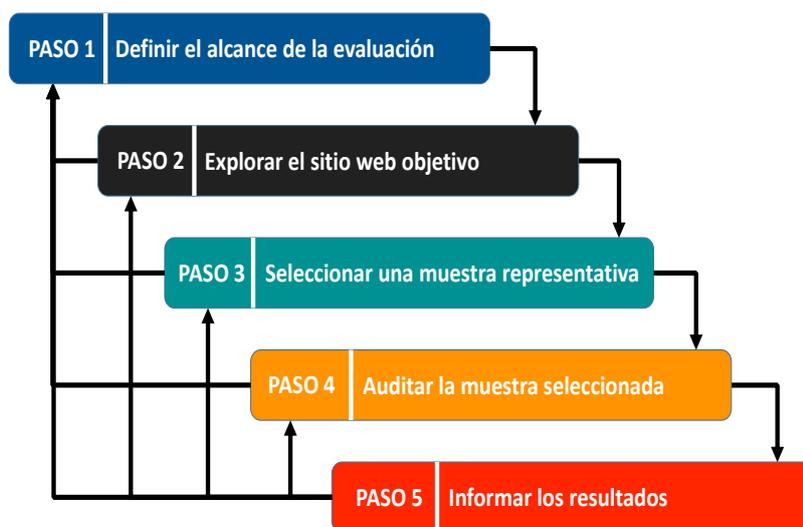


Figura 3.1: Procedimiento de evaluación: WCAG-EM 1.0 [31]

En esta tesis hay un total de cuatro artículos que evalúan la accesibilidad de los sitios web educativos con un nivel de conformidad A, un artículo que evalúa la accesibilidad de los sitios web de las universidades y escuelas politécnicas de Ecuador con un nivel de conformidad AA, un artículo que evalúa la accesibilidad de los sitios web de las instituciones de educación superior ecuatorianas clasificadas en Webometrics con un nivel de conformidad AAA y un artículo que evalúa la accesibilidad de los documentos electrónicos PDF, Word, Excel y PowerPoint publicados en los sitios web de 20 instituciones educativas de las ciudades de Cuenca, 20 de Guayaquil y 20 de Quito. Los resultados encontrados se detallan a continuación.

3.1. Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad A

En el artículo titulado “Análisis retrospectivo de la accesibilidad de los portales web educativos: el caso ecuatoriano” [23], se tuvo como objetivo determinar si la accesibilidad de los sitios web educativos ha mejorado con la entrada en vigor del RTE INEN

3 Caracterización del problema

288. La evaluación de la accesibilidad se realizó a 189 páginas web de las unidades educativas y colegios de la ciudad de Cuenca, Ecuador utilizando la herramienta de evaluación automática TAW con las WCAG 2.0 y un nivel de conformidad A en las tecnologías HTML y CSS. Además, se realizó una comparación de los resultados obtenidos de los portales web de las unidades educativas y colegios de la ciudad de Cuenca en los años 2016 y 2018. En la Figura 3.2 se puede observar que hay una disminución en el número de errores por cada uno de los principios de las WCAG 2.0 en los portales web de las unidades educativas y colegios de la ciudad de Cuenca evaluados en 2018. Sin embargo, ninguno de los portales web evaluados cumplen con la primera transitoria del RTE INEN 288 (para más detalles, véase el Capítulo 7, artículo a texto completo).

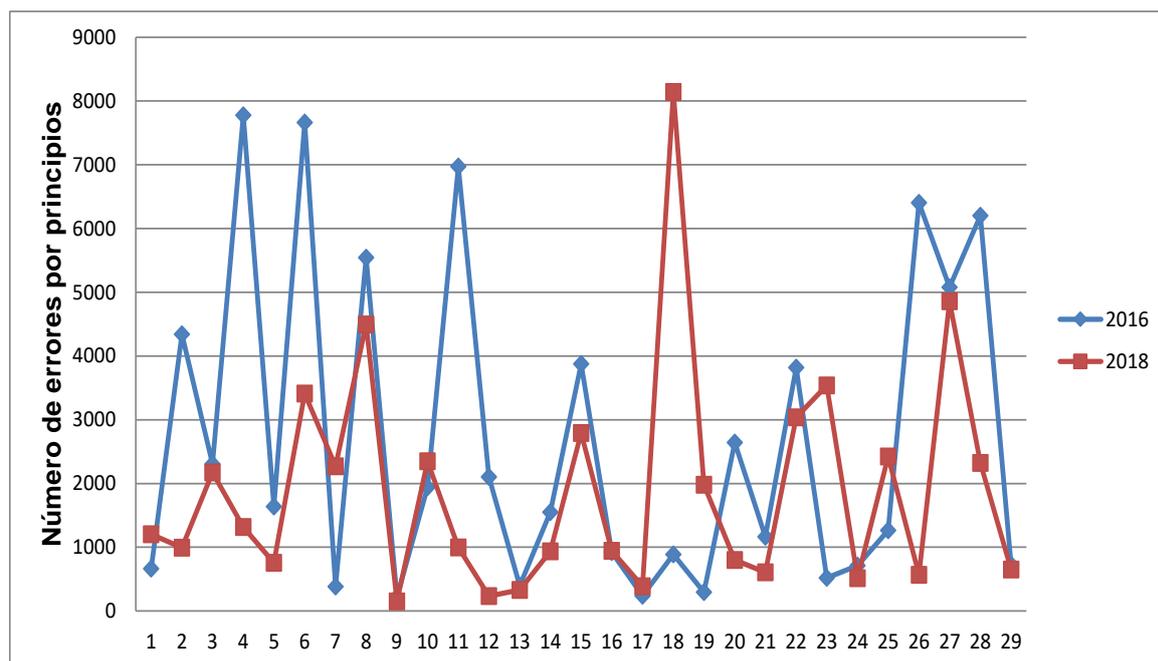


Figura 3.2: Análisis comparativo de la evaluación de accesibilidad de los sitios web de las unidades educativas y colegios en los años 2016 y 2018

En el artículo titulado “Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador” [17], se tuvo como objetivo evaluar la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas de la ciudad de Cuenca utilizando las WCAG 2.0 con un nivel de conformidad A; y además analizar su cumplimiento normativo. La evaluación se realizó a 191 páginas web de las instituciones educativas utilizando las herramientas de evaluación automática Examiner¹, TAW², Markup Validation Service³ y CSS Validation Service⁴. En la Tabla 3.2 se presentan los errores por cada uno de los principios de las WCAG 2.0: perceptible

¹<http://examinator.net/>

²<https://www.tawdis.net/>

³<https://validator.w3.org/>

⁴<https://jigsaw.w3.org/css-validator/>

3.1 Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad A

	P	O	C	R	Errores HTML	Errores CSS
Mínimo	71	38	11	23	2	0
Mediana	342	147	43	870	14	23
Media	378.4	166	43.28	1,383	33.07	36.31
Máximo	997	499	91	7,435	313	237

P: Perceptible O: Operable C: Comprensible R: Robusto

Tabla 3.2: Errores de accesibilidad de los portales web de la ciudad de Cuenca

(P), operable (O), comprensible (C) y robusto (R); y los errores HTML y CSS. Según los resultados obtenidos, se determinó que es necesario corregir errores en todos los portales web analizados de las instituciones educativas. Por lo tanto, se evidencia que los sitios web de las instituciones educativas analizadas de la ciudad de Cuenca no cumplen con la primera transitoria del RTE INEN 288 (para más detalles, véase el Capítulo 8, artículo a texto completo).

En el artículo titulado “Accesibilidad web en los portales de las instituciones educativas de Ecuador. Análisis preliminar” [25], se tuvo como objetivo evaluar la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito con las WCAG 2.0 y un nivel de conformidad A, y además analizar su cumplimiento normativo. La evaluación se realizó a 191 páginas web de las instituciones educativas de la ciudad de Cuenca, 133 páginas web de la ciudad de Guayaquil y 136 páginas web de la ciudad de Quito utilizando las herramientas de evaluación automática Examinator, TAW, Markup Validation Service y CSS Validation Service. En la Tabla 3.3 se presentan los errores por cada uno de los principios de las WCAG 2.0: perceptible (P), operable (O), comprensible (C) y robusto (R); y los errores HTML y CSS. Según los resultados obtenidos, se determinó que es necesario corregir errores en todos los portales web analizados de las instituciones educativas. Por lo tanto, se evidencia que los sitios web de las instituciones educativas analizadas de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito no cumplen con la primera transitoria del RTE INEN 288 (para más detalles, véase el Capítulo 9, artículo a texto completo).

	P	O	C	R	Errores HTML	Errores CSS
Mínimo	71	38	11	15	1.43	0
Mediana	404	162	44	569	13.71	20.29
Media	457.4	195.8	51.01	1,315	31.77	39.02
Máximo	1,808	780	147	7,435	312.86	481.29

P: Perceptible O: Operable C: Comprensible R: Robusto

Tabla 3.3: Errores de accesibilidad de los portales web de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito

En el artículo titulado “Análisis de accesibilidad web en las instituciones educativas públicas y fiscomisionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador aplicando la NTE INEN

3 Caracterización del problema

ISO/IEC 40500:2012” [27], se tuvo como objetivo evaluar la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas públicas y fiscomisionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador con la NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012, un nivel de conformidad A y realizar una propuesta de solución. La evaluación se realizó a 228 páginas web de las instituciones educativas de la ciudad de Cuenca utilizando las herramientas de evaluación automática Examinator, TAW, WAVE⁵ y AChecker⁶. Según los resultados obtenidos, se determinó que es necesario corregir errores en todos los portales web analizados de las instituciones educativas. Por lo tanto, se evidencia que los sitios web de las instituciones educativas públicas y fiscomisionales analizadas de la ciudad de Cuenca no cumplen con la primera transitoria del RTE INEN 288. En la Figura 3.3 se pueden ver el porcentaje de errores encontrados por herramienta de evaluación automática (para más detalles, véase el Capítulo 12, artículo a texto completo).

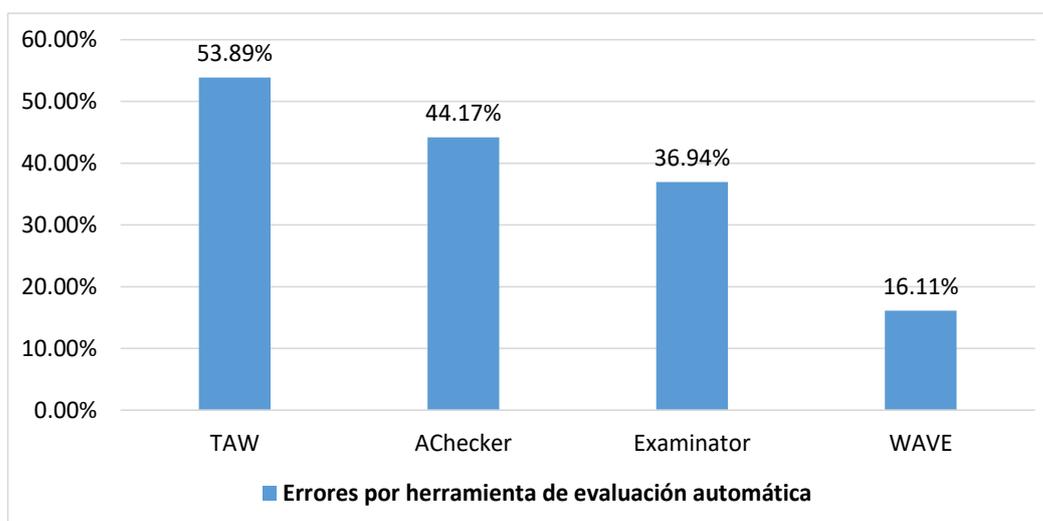


Figura 3.3: Porcentaje de errores encontrados con herramientas de evaluación automática

3.2. Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad AA

En el artículo titulado “Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la NTE INEN ISO/IEC 40500:2012” [18], se tuvo como objetivo evaluar la accesibilidad de los portales web de las universidades del Ecuador con la NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012, un nivel de conformidad AA y analizar su cumplimiento normativo. La evaluación se realizó a 220 páginas web de las universidades del Ecuador utilizando las herramientas de evaluación automática Exa-

⁵<https://wave.webaim.org/>

⁶<https://achecker.achecks.ca/checker/index.php>

3.3 Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad AAA

minator, AccessMonitor⁷, TAW y Tenon⁸. Según los resultados obtenidos, se determinó que es necesario corregir errores en todos los portales web analizados de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador. Por lo tanto, se evidencia que los sitios web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador analizadas no cumplen con la segunda transitoria del RTE INEN 288. En la Figura 3.4 se pueden ver el porcentaje de errores encontrados por cada principio de las WCAG 2.0 (para más detalles, véase el Capítulo 11, artículo a texto completo).

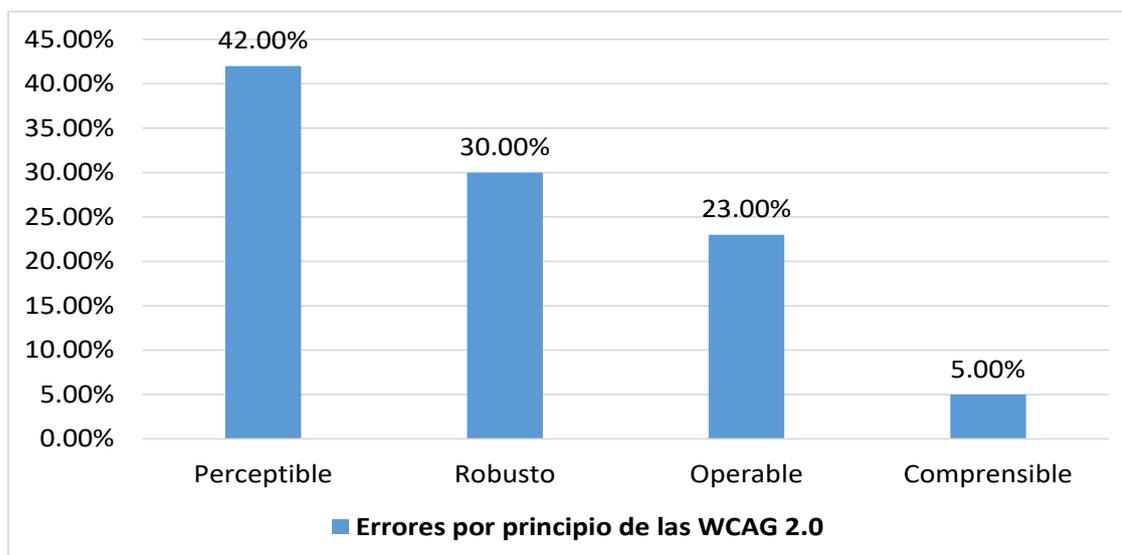


Figura 3.4: Porcentaje de errores por cada principio y páginas web analizadas

3.3. Evaluación de la accesibilidad con un nivel de conformidad AAA

En el artículo titulado “Evaluación de la accesibilidad de las páginas de inicio de los portales web de las instituciones de educación superior ecuatorianas clasificadas en Webometrics” [26], se tuvo como objetivo evaluar la accesibilidad de las páginas de inicio de los portales web de las instituciones de educación superior ecuatorianas clasificadas en la Webometrics con las WCAG 2.1 del W3C y un nivel de conformidad AAA. La evaluación se realizó a 65 páginas de inicio de las instituciones de educación superior ecuatorianas utilizando las herramientas de evaluación automática AccessMonitor, AChecker, TAW y WAVE. Según los resultados obtenidos, se determinó que es necesario corregir errores en todos los portales web analizados de las instituciones de educación superior del Ecuador. Por lo tanto, se evidencia que los sitios web de las instituciones de educación superior del Ecuador analizadas no cumplen con la primera y segunda transitoria del RTE INEN 288. Por consiguiente, los sitios web analizados

⁷<https://accessmonitor.acessibilidade.gov.pt/>

⁸<https://tenon.io/>

3 Caracterización del problema

tampoco cumplen con un nivel de conformidad AAA. El reporte de los resultados obtenidos se puede ver en la Tabla 3.4 (para más detalles, véase el Capítulo 17, artículo a texto completo).

Principio	Criterio de éxito	Nivel conformidad	Error promedio
Perceptible	1.1.1	A	78.00
	1.2.1	A	6.00
	1.3.1	A	64.25
	1.3.2	A	3.00
	1.3.3	A	48.00
	1.4.1	A	51.00
	1.4.3	AA	48.00
	1.4.4	AA	27.50
	1.4.5	AA	50.00
	1.4.6	AAA	1.00
	1.4.8	AAA	29.00
Operable	2.1.1	A	23.33
	2.1.3	AAA	8.00
	2.2.2	A	1.00
	2.3.1	A	51.00
	2.4.1	A	39.33
	2.4.2	A	33.50
	2.4.4	A	75.50
	2.4.5	AA	26.00
	2.4.6	AA	44.33
	2.4.7	AA	7.00
	2.4.9	AAA	55.50
	2.4.10	AAA	41.00
Comprensible	3.1.1	A	7.25
	3.1.2	AA	4.00
	3.2.1	A	6.00
	3.2.2	A	16.33
	3.2.3	AA	51.00
	3.2.4	AA	54.00
	3.3.1	A	37.00
	3.3.2	A	34.25
	3.3.3	AA	38.00
	3.3.4	AA	36.00
Robusto	4.1.1	A	46.33
	4.1.2	A	34.67

Tabla 3.4: Reporte del número de errores promedio de accesibilidad por principio, criterio de éxito y nivel de conformidad

3.4. Evaluación de la accesibilidad de documentos electrónicos

En el artículo titulado “Análisis de accesibilidad de documentos electrónicos publicados en portales web educativos: el caso ecuatoriano” [24], se tuvo como objetivo evaluar la accesibilidad de los documentos PDF, Word, Excel y PowerPoint publicados en los portales web de 20 instituciones educativas de las ciudades de Cuenca, 20 de Guayaquil y 20 de Quito. La evaluación se realizó a 442 documentos PDF, 14 documentos de Word, 3 documentos de Excel y 4 documentos de PowerPoint utilizando el comprobador de accesibilidad de Adobe Acrobat XI Pro y el comprobador de accesibilidad de Microsoft Office. Según los resultados obtenidos, se determinó que es necesario corregir errores en todos los documentos electrónicos analizados de las 60 instituciones educativas. Por lo tanto, se evidencia que los documentos electrónicos publicados en los portales web de las instituciones educativas analizadas no son accesibles. Los resultados obtenidos de la evaluación de los documentos electrónicos PDF, Word y PowerPoint podemos ver en las Tablas 3.5, 3.6 y 3.7 respectivamente. Sin embargo, el 100 % de los problemas de contenido en los documentos Excel analizados en las ciudades de Guayaquil y Quito son advertencias. Se puede resumir que la mayoría de errores se presentan en los documentos electrónicos en las tablas, los títulos y la falta de texto alternativo (para más detalles, véase el Capítulo 10, artículo a texto completo).

3.5. Conclusiones

En síntesis, se puede determinar que los 1,353 sitios web educativos analizados no cumplen las WCAG ni los niveles de conformidad A, AA y AAA. Además, los 463 documentos electrónicos analizados publicados en los sitios web no son accesibles. La falta de accesibilidad en los sitios web y su contenido vulnera los derechos de las personas con discapacidad. Por ello, las instituciones educativas y organizaciones deben buscar estrategias de cumplimiento para evitar sanciones y demandas judiciales.

3 Caracterización del problema

Criterios	Indicadores	% Errores Cuenca	% Errores Guayaquil	% Errores Quito
Contenido de la página	Contenido etiquetado, anotaciones etiquetadas, orden de tabulación, codificación de caracteres, elementos multimedia etiquetados, parpadeo de la pantalla, guiones, respuestas temporizadas y enlaces de navegación.	11.00 %	12.00 %	11.00 %
Documento	Indicador de permiso de accesibilidad, PDF de sólo imagen, PDF etiquetado, orden lógico de lectura, idioma principal, título, marcadores y contraste de color.	24.00 %	24.00 %	24.00 %
Encabezados	Anidación adecuada.	5.00 %	5.00 %	5.00 %
Formularios	Campos de formulario etiquetados y descripciones de campos.	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Listas	Elementos de la lista, lbl y lbody.	10.00 %	10.00 %	10.00 %
Tablas	Filas, th y td, cabeceras, regularidad y resumen.	21.00 %	21.00 %	21.00 %
Texto alternativo	Texto alternativo de las figuras, texto alternativo anidado, asociado al contenido, oculta la anotación y el texto alternativo de otros elementos.	29.00 %	28.00 %	29.00 %

Tabla 3.5: Porcentaje de errores por criterio e indicador en los documentos Adobe PDF obtenidos de los portales web de las instituciones educativas de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito

Criterios	Indicadores	% Errores Cuenca	% Errores Guayaquil	% Errores Quito
Texto alternativo	Tablas, imágenes y otros tipos de objetos como formas, SmartArt y gráficos.	94.00 %	76.00 %	60.00 %
Documento sin estructura	Títulos.	3.00 %	0.00 %	0.00 %
No se ha especificado ninguna fila de cabecera	Tablas.	3.00 %	24.00 %	40.00 %

Tabla 3.6: Porcentaje de errores por criterio e indicador en los documentos de Microsoft Word obtenidos de los portales web de las instituciones educativas de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito

Criterios	Indicadores	% Errores Cuenca	% Errores Guayaquil
Texto alternativo	Tablas, imágenes y otros tipos de objetos como formas, SmartArt y gráficos.	75.00 %	65.00 %
Falta el título de la diapositiva	Títulos de las diapositivas.	25.00 %	24.00 %
No se ha especificado ninguna fila de cabecera	Tablas.	0.00 %	11.00 %

Tabla 3.7: Porcentaje de errores por criterio e indicador en los documentos de Microsoft PowerPoint obtenidos de los portales web de las instituciones educativas de las ciudades de Cuenca y Guayaquil

4 Recopilación del estado de la cuestión

El estado de la cuestión permite al investigador conocer lo que se ha realizado sobre un tema de interés. El tema de interés de esta investigación es la accesibilidad web. Tomando en cuenta esto, en esta tesis se realizaron tres SLR:

1. Estudios empíricos sobre la accesibilidad de los sitios web educativos.
2. Accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el mundo.
3. Arquitectura de software de los sitios web educativos.

4.1. Estudios empíricos sobre la accesibilidad de los sitios web educativos

En 2020, se realizó una SLR [19] sobre los resultados empíricos de la evaluación de la accesibilidad de los sitios web educativos de un total de 25 artículos. El objetivo era analizar los métodos empíricos de evaluación de la accesibilidad en los sitios web educativos, las discapacidades y los problemas de accesibilidad descritos en los estudios seleccionados.

4.1.1. Metodología de la revisión sistemática de la literatura

Una SLR implica varias actividades discretas. Esta investigación adopta las directrices de Kitchenham, que incluyen los siguientes pasos: planificación de la revisión, realización de la revisión y resultados de la revisión [14]. La Figura 4.1 presenta el diagrama de flujo de la metodología de la SLR que se utiliza para determinar los resultados y las tendencias de accesibilidad en los sitios web.

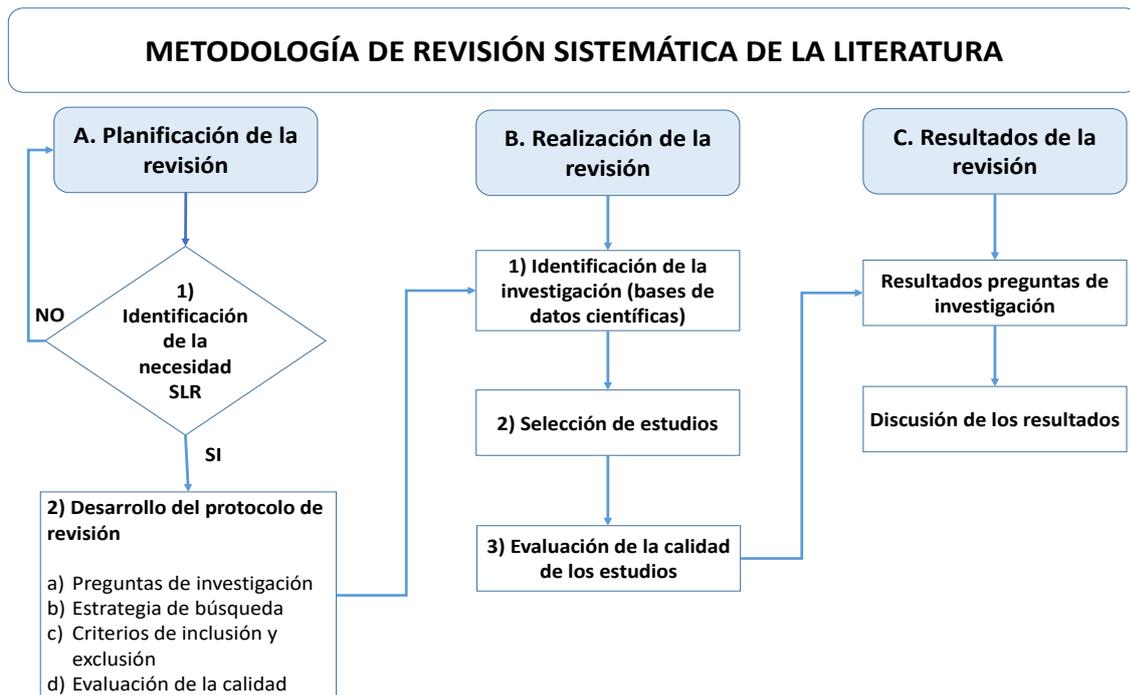


Figura 4.1: Diagrama de flujo de la metodología empleada en la revisión sistemática de la literatura

4.1.2. Planificación de la revisión sistemática de la literatura

Los objetivos de esta etapa son identificar la necesidad de un estudio de SLR y desarrollar un protocolo de revisión.

4.1.2.1. Identificación de la necesidad de una revisión sistemática de la literatura

Basado en las sugerencias de algunos artículos [14], [32]-[34] buscamos SLR y publicaciones similares relacionadas con la accesibilidad web de los sitios web educativos para verificar si la SLR propuesta en este trabajo puede llenar algún vacío. Para la consulta utilizamos una cadena de búsqueda para Scopus y otra para la WOS. Las cadenas de búsqueda utilizadas se presentan a continuación:

- Scopus: TITLE (systematic education* accessib*) OR TITLE (literature AND education* AND accessib*) OR TITLE (review AND education* AND accessib*) OR TITLE (survey AND education* AND accessib*)
- WOS: (“systematic literature review” and “web accessibility”)

Luego de ejecutar la cadena de búsqueda en las bases de datos científicas se encontraron cuatro SLR [35]-[38] que tienen relación con nuestra propuesta.

En resumen, el primer estudio elabora una guía metodológica para desarrollar entornos educativos virtuales accesibles desde un enfoque sistémico. El segundo estudio

en una SLR lleva a cabo estudios de investigación en Arabia Saudí y en el extranjero para estudiar el tema de la accesibilidad web en los sitios web gubernamentales y universitarios. El tercer estudio ofrece una revisión histórica de la accesibilidad de la educación superior en línea. El cuarto estudio investiga los temas y métodos comunes que se abordan en la literatura sobre educación informática, centrándose en cómo la investigación intenta mejorar las formas de integrar la accesibilidad en el plan de estudios de educación informática. Sin embargo, estos estudios no son tan detallados, ni presentan un análisis bibliométrico. Por ejemplo, falta información sobre los métodos empíricos utilizados para la evaluación de la accesibilidad web, las discapacidades, las versiones de las WCAG y sus niveles de conformidad, los tipos de herramientas utilizadas en la evaluación de los sitios web educativos (usuarios finales, herramientas automatizadas, expertos o una combinación de ellas), los errores encontrados en cada uno de los artículos seleccionados y a qué discapacidades afectan. Además, la SLR propuesta está actualizado hasta octubre de 2019. Por lo tanto, las SLR encontradas no cubren el alcance de las preguntas de investigación sobre la accesibilidad web de los sitios web educativos, ni alcanzan el mismo nivel de detalle y precisión de la SLR propuesta.

4.1.2.2. Desarrollo del protocolo de la revisión sistemática de la literatura

Este artículo tiene como objetivo realizar un análisis de los 10 últimos años de investigación sobre la accesibilidad de los sitios web educativos. Para lograr este objetivo, es imprescindible una SLR. Para lo cual, se lleva a cabo un proceso de selección de la literatura más relevante en la evaluación de sitios web educativos.

Preguntas de investigación. Para cumplir con el objetivo de la SLR [39] se definieron diez preguntas de investigación. Estas preguntas de investigación y su motivación se muestran en la Tabla 4.1.

Estrategia de búsqueda. La cadena de búsqueda debe proporcionar la máxima cobertura pero también debe ser de un tamaño manejable. Los términos utilizados, que se derivan de las preguntas de investigación, se han seleccionado utilizando cinco ámbitos diferentes como punto de partida:

1. El sitio de contexto, que examina los portales web, los sitios y las páginas web.
2. La accesibilidad, las WCAG abarcan una amplia gama de recomendaciones para hacer más accesibles los contenidos web.
3. La educación como ámbito específico de aplicación.
4. La discapacidad, la accesibilidad de los sitios web para las personas con algún tipo de discapacidad.
5. El tipo de investigación que está relacionado con los estudios empíricos.

El operador booleano OR se utiliza para unir términos alternativos y el operador booleano AND para unir dos partes principales. Además, el comodín (*) se utiliza para encerrar tanto el singular como el plural de cada término y para buscar palabras clave

4 Recopilación del estado de la cuestión

No.	Preguntas de investigación	Motivación
RQ1	¿Qué revistas publican artículos sobre la accesibilidad web en la educación?	Examinar las diferentes revistas en las que se han publicado los artículos seleccionados.
RQ2	¿Cuál es el ranking de las revistas de los artículos seleccionados?	Analizar la calidad y pertinencia de los artículos encontrados.
RQ3	¿Cuál es la frecuencia de publicación de los estudios de accesibilidad web en la educación a lo largo del tiempo?	Explorar la evolución de las publicaciones a lo largo del tiempo.
RQ4	¿Cuáles son las normas y leyes sobre discapacidad utilizadas en los artículos seleccionados?	Determinar las normas y leyes de discapacidad utilizadas en los artículos seleccionados.
RQ5	¿Qué métodos empíricos se utilizan para evaluar la accesibilidad de los sitios web educativos?	Examinar los tipos de validación empírica utilizados para evaluar la accesibilidad de los sitios web educativos.
RQ6	¿Qué discapacidades se analizan en las evaluaciones de accesibilidad de los sitios web educativos?	Identificar las discapacidades analizadas en las evaluaciones de accesibilidad de los sitios web educativos.
RQ7	¿Cuáles son las WCAG y niveles de conformidad que se han utilizado en la evaluación de los sitios web educativos?	Analizar las WCAG y los niveles de conformidad que se han utilizado en la evaluación de los sitios web educativos.
RQ8	¿Qué tipo de herramientas o servicios en línea, usuarios reales y expertos han ayudado a evaluar la accesibilidad de la web?	Proporcionar información sobre las herramientas automáticas de evaluación de la accesibilidad de la web utilizadas, los usuarios reales y los expertos que han ayudado a determinar si el contenido de la web cumple las normas de accesibilidad.
RQ9	¿Cuál es el número de errores encontrados en los sitios web educativos por prioridades y principios?	Proporcionar información sobre los errores de accesibilidad más comunes encontrados en los sitios web educativos por principio y prioridad según las WCAG.
RQ10	¿Cuáles son los resultados obtenidos en la evaluación de la accesibilidad de los sitios web educativos?	Extraer los resultados obtenidos de la evaluación de la accesibilidad de los sitios web educativos.

Tabla 4.1: Preguntas de investigación

4.1 Estudios empíricos sobre la accesibilidad de los sitios web educativos

que contengan determinados caracteres. Las comillas dobles se utilizan para buscar frases exactas. A partir de estos términos de búsqueda principales, se identificaron los términos de sustitución. La cadena de búsqueda se muestra en la Tabla 4.2.

Alcance	Cadena
Contexto del sitio	(website OR “web site” OR “Internet site” OR site OR “web portal” OR “web page” OR web OR “electronic page” OR “digital page”) AND
Accesibilidad	(WCAG OR “web accessibility” OR accessibility OR “universal design” OR “accessibility level” OR “accessibility evaluation” OR “accessibility problems”) AND
Educación	(“education*” OR university OR school OR higher OR “High schools” OR colleges) AND
Discapacidades	(“disabilit*”) AND
Tipo de investigación	(empiric* OR eval* OR assessm* OR test OR experiment OR method OR approach* prediction OR “case study” OR measure OR estimation OR metric OR validation OR framework OR prototype OR survey)

Tabla 4.2: Cadena de búsqueda

Criterios de inclusión y exclusión. El proceso de selección de los artículos tiene una gran influencia en los resultados obtenidos. Cada estudio encontrado a partir del proceso de búsqueda inicial fue evaluado para decidir si debía ser admitido como uno de los estudios seleccionados. Si un trabajo no cumple con todos los criterios de inclusión o cumple con algún criterio de exclusión, será excluido de la revisión. Los criterios de inclusión son:

- I1. El trabajo debe ser un artículo completo o corto (no un resumen).
- I2. El artículo presenta resultados empíricos.
- I3. El artículo se publica en una revista de alto impacto, clasificada en SJR o JCR.

Los artículos que cumplían al menos uno de los siguientes criterios se excluyeron:

- E1. Artículos publicados antes de 2009 porque las WCAG 2.0 fueron publicadas por el W3C el 11 de diciembre de 2008.
- E2. Artículos publicados en fuentes distintas de las revistas.
- E3. Artículos escritos en un idioma distinto del inglés.
- E4. Artículos que no tienen como una de sus palabras claves accesibilidad.

4 Recopilación del estado de la cuestión

- E5. Los artículos que evalúan la accesibilidad de sitios web distintos de los educativos.

Teniendo en cuenta que las palabras clave representan el contenido de un documento, E4 excluye todos los documentos que no tienen “accesibilidad” como palabra clave o sus términos de sustitución “accesibilidad web” o “WCAG”.

Evaluación de calidad. El propósito de esta evaluación de la calidad (*Quality Assessment*, QA) es ponderar la importancia de cada uno de los artículos seleccionados cuando se discuten los resultados y guiar la interpretación de los hallazgos [14]. La Tabla 4.3 muestra la lista de comprobación para la evaluación de la calidad. Cada QA obtiene una puntuación de uno por el cumplimiento de cada una de las siguientes cláusulas:

1. La accesibilidad web se detalla en el artículo.
2. Se utilizan métodos de evaluación de la accesibilidad web.
3. Se determinan los resultados empíricos de la accesibilidad web.
4. El artículo discute los resultados de la evaluación de la accesibilidad web.
5. Hay errores de accesibilidad web en los resultados.
6. La revista está indexada en SJR, para la evaluación de los cuartiles de los artículos en SJR utilizamos el sitio web¹.
7. La revista está indexada en JCR, para la evaluación de los cuartiles de los artículos en JCR utilizamos Clarivate².

4.1.3. Realización de la revisión sistemática de la literatura

4.1.3.1. Identificación de la investigación

Una SLR consiste en buscar en la literatura los temas que se han tratado y dónde se han publicado. El proceso de búsqueda implica la selección de los recursos de búsqueda y la identificación de los términos de búsqueda. En una investigación realizada en 2019, sobre la evaluación de las características de recuperación de Google Scholar, PubMed y 26 sistemas de búsqueda académica, en sus conclusiones demostraron que Google Scholar es inadecuado como recurso primario [40]. Por lo tanto, en esta investigación seleccionamos las fuentes académicas más relevantes en ingeniería de software y educación para buscar los artículos: ACM Digital Library, IEEE Xplore, Scopus, Springer Link y WOS. Estas bases de datos se eligieron de acuerdo con los siguientes criterios:

- Recoge las referencias de las principales publicaciones científicas esenciales para el apoyo a la investigación.
- Los artículos publicados en las bases de datos son revisados por pares.

¹<https://www.scimagojr.com/>

²<https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/journal-citation-reports/>

No.	Pregunta de evaluación de la calidad	Respuesta
QA1	¿Está detallada la accesibilidad web en el artículo?	(+1) Si / (+0) No
QA2	¿Está especificado en el artículo el método de evaluación de la accesibilidad web?	(+1) Si / (+0) No
QA3	¿Son los resultados empíricos de la evaluación de la accesibilidad de la web mostrados?	(+1) Si / (+0) No
QA4	¿Discute el artículo algún hallazgo de la evaluación de la accesibilidad de la web?	(+1) Si / (+0) No
QA5	¿Están descritos en los resultados los errores comunes de accesibilidad de la web?	(+1) Si / (+0) No
QA6	¿Está el artículo en una revista indexada en SJR?	(+1) si el artículo está indexado en una revista Q1, (+0.75) si el artículo está indexado en una revista Q2, (+0.5) si el artículo está indexado en una revista Q3, (+0.25) si el artículo está indexado en una revista Q4, (+0) si el artículo no está indexado en una revista con cuartil.
QA7	¿Está el artículo en una revista indexada en el JCR?	(+1) si el artículo está indexado en una revista Q1, (+0.75) si el artículo está indexado en una revista Q2, (+0.5) si el artículo está indexado en una revista Q3, (+0.25) si el artículo está indexado en una revista Q4, (+0) si el artículo no está indexado en una revista con cuartil.

Tabla 4.3: Lista de comprobación para la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados

- Indexa artículos de alta calidad.

- Permite el uso de cadenas de búsqueda con operadores booleanos para conectar lógicamente las palabras clave.

4.1.3.2. Selección de estudios

El proceso de búsqueda se realizó en octubre de 2019. Un total de 35,104 artículos se encontraron con la cadena de búsqueda que se muestra en la Tabla 4.2. De los 35,104 artículos, 7,925 fueron excluidos tras aplicar E1 por haber sido publicados antes de 2009, 17,521 artículos fueron excluidos tras aplicar E2 por no estar publicados en revistas, 471 artículos fueron excluidos tras aplicar E3 por no estar escritos en inglés. De los 9,187 artículos restantes se evaluó la existencia de la palabra clave “accesibilidad”, 8,971 fueron excluidos tras aplicar E4 porque no tienen la palabra clave “accesibilidad”. Además, se examinaron los textos completos de los 216 documentos restantes, se excluyeron 191 documentos y finalmente se seleccionaron 25 tras aplicar E5. Un gran número de documentos se excluyó porque no analizan sitios web que son educativos, por ejemplo, sitios web de turismo, sitios web municipales, sitios web gubernamentales de salud, sitios web de información sanitaria, sitios web de comercio electrónico, sitios web de finanzas, sitios web bancarios, sitios web corporativos, sitios web de eventos culturales, sitios web de organizaciones de asociaciones internacionales en el área de la ciencia y la ingeniería, sitios web de redes sociales, etc., que no son el objetivo de esta SLR. La Figura 4.2 muestra el diagrama de inclusión y exclusión de los artículos.

4.1.3.3. Evaluación de la calidad de los estudios

En la Tabla 4.4 se presenta una lista de los artículos seleccionados, junto con sus resultados de control de calidad. Además, se ha creado una columna de normalización para utilizar una escala común de 0 a 1. Para ello [41], se ha utilizado la normalización mínimo-máximo, que preserva la relación entre los valores de los datos originales. Los valores de esta columna se transforman mediante la siguiente fórmula (4.1):

$$Normalización = \frac{Score - \min(Score)}{[\max(Score) - \min(Score)]} \quad (4.1)$$

Donde el $\min(Score)$ tiene un valor de 0, el $\max(Score)$ tiene un valor de 7 y el $Score$ toma el valor de la suma de los valores QA de cada artículo. Los artículos con una puntuación normalizada inferior a 0.70 fueron excluidos de la SLR.

4.1 Estudios empíricos sobre la accesibilidad de los sitios web educativos

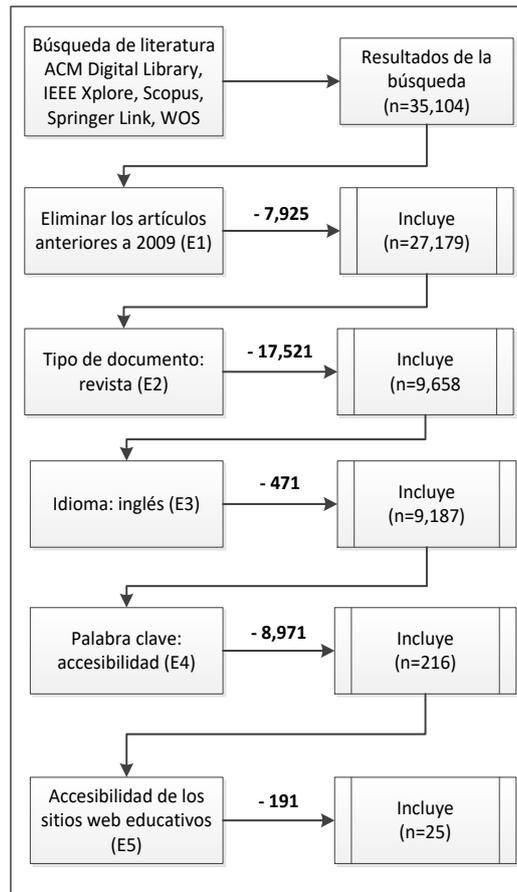


Figura 4.2: Diagrama de inclusión y exclusión de artículos en la revisión sistemática de la literatura (accesibilidad sitios web educativos)

4 Recopilación del estado de la cuestión

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[42]	2010	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82	
[43]	2013	Journal of Universal Comput-er Science (J.UCS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85	
[44]	2013	Library Hi Tech (LHT)	1	1	1	1	1	1.00	0.50	6.50	0.92	
[45]	2014	International Education Studies (IES)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[46]	2014	International Review on Computers and Software (IRECO-S)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[47]	2014	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85	
[48]	2014	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85	
[49]	2014	Library Management (LM)	1	1	1	1	1	1.00	0.00	6.00	0.85	
[50]	2015	International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	

Continúa en la siguiente página

4.1 Estudios empíricos sobre la accesibilidad de los sitios web educativos

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[51]	2015	Communications in Computer and Information Science (CC-IS)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[52]	2015	Advances in Librarianship (A-L)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[53]	2016	Journal of Information and Communication Technology-Malaysia (JICT)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[54]	2017	International Journal of Online Pedagogy and Course Design (IJOPCD)	1	1	1	1	1	0.00	0.00	5.00	0.71	
[55]	2017	Journal of Information and Communication Technology (JICT)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82	
[56]	2017	International Journal of Web Information Systems (IJWIS)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[57]	2017	Procedia Computer Science (PCS)	1	1	1	1	1	0.00	0.00	5.00	0.71	
[58]	2017	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85	

Continúa en la siguiente página

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad												
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización				
[59]	2018	IEEE Access	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00				
[60]	2018	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85				
[61]	2018	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85				
[62]	2019	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85				
[63]	2019	Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences (JKSUCIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82				
[64]	2019	Community College Journal of Research and Practice (CC-JRP)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82				
[65]	2019	TechTrends	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82				
[66]	2019	IEEE Access	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00				

Tabla 4.4: Resultados de la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados, ordenados por año de publicación

4.1.4. Resultados de la revisión sistemática de la literatura

La SLR comienza haciendo un análisis bibliométrico de la información más relevante obtenida de los artículos seleccionados. Los artículos seleccionados fueron producto de publicaciones en 17 revistas. Como resultado de la clasificación de las fuentes de publicación, 13 artículos fueron publicados en revistas del ranking SJR y 10 en SJR y JCR. En SJR tenemos 3 artículos en Q1, 12 artículos en Q2 y 7 artículos en Q3. En JCR tenemos 2 artículos en Q1, 2 artículos en Q3 y 6 artículos en Q4.

Las revistas de Springer son la fuente que contiene el mayor número de estudios relevantes. Los países con mayor contribución al tema de la accesibilidad web son Estados Unidos, Ecuador, India, Malasia y Portugal. Estados Unidos promueve el cumplimiento de la accesibilidad en los sitios web a través de la Section 508. A partir de este análisis, se ha podido comprobar el interés y el crecimiento de este tema de investigación.

Los métodos empíricos utilizados para la evaluación de la accesibilidad web han sido con usuarios reales y validación de expertos, métodos automáticos mediante programas o servicios online y la combinación de ambos. Con las WCAG 1.0 se evaluaron en 5 artículos, con las WCAG 2.0 en 19 artículos y con las WCAG 2.1 en 1 artículo. De los 25 artículos, 3 artículos no especifican en sus resultados el nivel de conformidad. En los resultados de 2 artículos los autores analizan los sitios web educativos con usuarios reales, incluidos los usuarios con discapacidad, y en 3 artículos con usuarios reales y validación de expertos. En los resultados de 23 artículos los autores utilizaron herramientas automáticas para evaluar la accesibilidad de los sitios web educativos, las herramientas automáticas más utilizadas son AChecker, EvalAcces, TAW y WAVE.

Las herramientas automáticas utilizadas en la evaluación de la accesibilidad web de al menos 5 artículos son AChecker, EvalAcces, TAW y WAVE. Se puede observar que hay una gran concentración en unas pocas herramientas automáticas que son las preferidas, aunque hay muchas más. El W3C enumera 159 herramientas [67] para la evaluación de la accesibilidad web de forma automática.

En las WCAG 1.0, los errores más comunes se encuentran en la prioridad 2, que equivale al 50 % del total de errores. Un desarrollador de contenidos web debe satisfacer este punto de control. De lo contrario, uno o varios grupos tendrán dificultades para acceder a la información del documento. La satisfacción de este punto de control eliminará importantes barreras de acceso a los documentos web. En las WCAG 2.0, el mayor número de errores se presenta en el principio perceptible, que equivale al 40 % del total de errores, el 35 % en el principio operable, el 19 % en el principio comprensible, y el 6 % en el principio robusto. En las WCAG 2.1 se presentan la mayor cantidad de errores en los criterios de éxito 1.1.1, 1.4.1, 1.4.4, 2.1.1 y 2.1.2 que están en los principios perceptible y robusto. Esto significa que la información y los componentes de la interfaz de usuario no se presentan a los usuarios de forma perceptible. Un sitio web es perceptible cuando permite al usuario navegar con uno o más de sus sentidos.

Los resultados determinaron que el 80 % de los 12,903 sitios web analizados utilizan herramientas de evaluación automática, el 8 % usuarios finales y el 12 % una combinación de expertos, herramientas automáticas y usuarios finales. En conclusión, los sitios web educativos analizados en los 25 artículos objeto de estudio en la SLR tienen problemas de accesibilidad (para más detalles, véase el Capítulo 13, artículo a texto completo).

4.2. Accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el mundo

En 2021, se realizó una SLR [21] sobre la accesibilidad de las páginas web de las universidades de un total de 42 artículos. Con el objetivo de consolidar, analizar, sintetizar e interpretar los resultados de accesibilidad de los sitios web universitarios analizados.

4.2.1. Metodología de la revisión sistemática de la literatura

Una SLR realiza una síntesis de la información publicada en diferentes bases de datos científicas de forma ordenada, precisa y analítica sobre un tema concreto. La metodología de la SLR tiene como objetivo guiar el proceso de revisión sobre un tema de interés para determinar su progreso de investigación y encontrar nuevas áreas de investigación. La metodología aplicada en esta SLR es la misma que se explica en la sección 4.1.1.

4.2.2. Planificación de la revisión sistemática de la literatura

El objetivo de esta etapa es determinar la necesidad de una SLR y establecer un protocolo de revisión. Para determinar la necesidad de una SLR, se realiza una búsqueda exhaustiva de las SLR en diferentes bases de datos científicas.

4.2.2.1. Identificación de la necesidad de una revisión sistemática de la literatura

Utilizando las siguientes publicaciones [14], [32]-[34] como referencia, se creó una cadena de búsqueda para encontrar las SLR similares sobre la accesibilidad de los sitios web de las universidades y determinar si la SLR propuesta en este estudio contribuirá a llenar alguna laguna. Se crearon dos cadenas de búsqueda equivalentes, una para la base de datos WOS y otra para la base de datos Scopus:

- **WOS:** TI=((“web accessibility” OR accessibilit* OR WCAG) AND (universit* OR “higher education” OR education*) AND (web* OR portal) AND (“systematic literature review” OR “literature review” OR “systematic review”))
- **Scopus:** TITLE((“web accessibility” OR accessibilit* OR WCAG) AND (universit* OR “higher education” OR education*) AND (web* OR portal) AND (“systematic literature review” OR “literature review” OR “systematic review”))

Luego de ejecutar la cadena de búsqueda en las bases de datos científicas se encontraron dos SLR [19], [37] que tienen relación con nuestra propuesta.

En resumen, la primera SLR identifica los problemas de accesibilidad de los sitios web de los gobiernos y universidades saudíes. La segunda SLR analiza los resultados empíricos de la evaluación de la accesibilidad de los sitios web educativos. En cambio la SLR propuesta en este trabajo, a diferencia de los otros dos, pretende determinar el proceso de evaluación de la accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el

mundo. Para ello, comenzamos identificando los continentes y países en los que se han realizado investigaciones sobre la accesibilidad de los sitios web universitarios (RQ1 [RQ1.1, RQ1.2]). A continuación, se determina el proceso de exploración aplicado para la selección de los sitios web u otros recursos que han sido evaluados (RQ2 [RQ2.1, RQ2.2], RQ3 [RQ3.1, RQ3.2, RQ3.3]). Además, se definen los estándares de accesibilidad, las leyes de accesibilidad, las versiones de las WCAG y los niveles de conformidad utilizados en las evaluaciones (RQ4, RQ5, RQ6 [RQ6.1, RQ6.2, RQ6.3]). También, se definen los métodos, herramientas, usuarios finales o expertos que ayudan en la evaluación (RQ7, RQ8, RQ9). Finalmente, se analizan los errores más comunes encontrados en los resultados y su adecuación a los niveles de accesibilidad de las webs universitarias en los estudios elegidos (RQ10, RQ11).

4.2.2.2. Desarrollo del protocolo de la revisión sistemática de la literatura

Esta investigación tiene como objetivo recopilar los artículos publicados hasta marzo de 2021 sobre la accesibilidad de los sitios web universitarios en tres bases de datos científicas (WOS, Scopus e IEEE Xplore). Para ello, se elabora un protocolo de revisión en el que se definen las preguntas de investigación, la estrategia de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión y la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados, que se analizan y detallan a continuación.

Preguntas de investigación. Las preguntas de investigación se clasifican en cuatro grupos principales:

- ¿Qué se evaluó?
- ¿Qué normas se utilizaron para la evaluación?
- ¿Qué métodos se utilizaron para la evaluación?
- ¿Qué resultados se obtuvieron?

Para alcanzar el objetivo de esta SLR se formularon 11 preguntas de investigación, algunas de ellas con varias subpreguntas.

- Las preguntas y subpreguntas de investigación, los objetivos y los resultados esperados que se formulan en la Tabla 4.5 responderán a la primera pregunta de investigación (RQ1 [RQ1.1, RQ1.2], RQ2 [RQ2.1, RQ2.2], RQ3 [RQ3.1, RQ3.2, RQ3.3]);
- Las preguntas y subpreguntas de investigación, los objetivos y los resultados esperados que se formulan en la Tabla 4.6 responderán a la segunda pregunta de investigación (RQ4, RQ5, RQ6 [RQ6.1, RQ6.2, RQ6.3]);
- Las preguntas de investigación, los objetivos y los resultados esperados formulados en la Tabla 4.7, responderán a la tercera pregunta de investigación (RQ7, RQ8, RQ9);

4 Recopilación del estado de la cuestión

- Las preguntas de investigación, los objetivos y los resultados esperados que se formulan en la Tabla 4.8, responderán a la cuarta pregunta de investigación (RQ10, RQ11). Estas preguntas sólo pueden responderse si la evaluación de la accesibilidad tiene en cuenta las WCAG.

No.	Preguntas de investigación	Objetivos	Resultados esperados
RQ1	¿Dónde se ha analizado más la accesibilidad de las universidades?	Identificar los continentes y países en los que se han evaluado las páginas web de las universidades.	Continentes y países.
RQ1.1	¿En qué continentes se ha analizado más la accesibilidad de los sitios web universitarios?	Determinar los continentes en los que se han evaluado los sitios web universitarios.	Africa, América, Asia, Europa and Oceanía.
RQ1.2	¿En qué países se ha analizado más la accesibilidad de los sitios web universitarios?	Determinar los países en los que se han evaluado las páginas web de las universidades.	Angola, Bolivia, Canadá, Camerún, China, Francia, Italia, Japón, Portugal, España, Turquía, Reino Unido, etc.
RQ2	¿Cómo se han seleccionado las universidades para el análisis y cuántas se han analizado?	Determinar cómo se han seleccionado las universidades para el análisis y cuántas universidades se han analizado.	Métodos de selección y número de universidades evaluadas.
RQ2.1	¿Qué métodos se han utilizado para la selección de los sitios web universitarios que se van a evaluar?	Determinar los métodos de selección de los sitios web universitarios.	Todas las universidades, muestreo, selección aleatoria, etc.
RQ2.2	¿Cuántas páginas web universitarias se han evaluado?	Determinar cuántas páginas web universitarias han sido evaluadas.	Número de sitios web universitarios evaluados.
RQ3	¿Qué tipo de páginas, cuántas y qué otros recursos se han evaluado en los sitios web universitarios?	Determinar el tipo de páginas, cuántas y qué otros recursos se han evaluado en los sitios web de la universidad.	Tipo de páginas web, número de páginas web y otros recursos.

Continúa en la siguiente página

No.	Preguntas de investigación	Objetivos	Resultados esperados
RQ3.1	¿Qué tipo de páginas web se han evaluado?	Determinar qué páginas web han sido evaluadas en los sitios web de las universidades.	Página web, formulario de contacto, formulario de inscripción, etc.
RQ3.2	¿Cuántas páginas web se han evaluado?	Determinar cuántas páginas web han sido evaluadas.	Número de páginas web evaluadas.
RQ3.3	¿Qué otros recursos se han evaluado?	Determinar qué otros recursos han sido evaluados en los sitios web de las universidades.	Videos, PDF, PowerPoint, etc.

Tabla 4.5: Preguntas de investigación relacionadas con la cobertura de las universidades evaluadas - ¿Qué se evaluó?

En los resultados de esta SLR, respondemos a las preguntas y subpreguntas de investigación definidas en las Tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8, mediante el análisis, la síntesis y la interpretación de los resultados encontrados en los artículos seleccionados. La principal contribución de esta SLR es la consolidación de los resultados de los artículos seleccionados para determinar los hallazgos y las tendencias en el tema investigado.

Estrategia de búsqueda. La cadena de búsqueda es una pieza clave en una SLR para la selección de artículos, ya que delimita el alcance y la cobertura de la investigación. Las palabras clave y sus términos de sustitución para el ámbito de búsqueda se han determinado de acuerdo con las preguntas y subpreguntas de investigación definidas en las Tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8. Estas palabras clave y sus términos de sustitución utilizados en el ámbito de búsqueda de esta SLR pueden verse en la Tabla 4.9.

Los operadores booleanos utilizados en la cadena de búsqueda son OR para unir los términos de sustitución, de modo que los resultados muestren al menos uno de estos términos, y AND para combinar las partes principales de la cadena de búsqueda, donde los resultados muestran todos los términos de búsqueda. Estos operadores booleanos se combinan varias veces para crear una cadena de búsqueda personalizada. Además, se ha aplicado el comodín (*) para representar tanto el plural como el singular de cada palabra clave o término de sustitución y también para buscar palabras clave que contengan determinados caracteres. Por último, se han utilizado comillas dobles para buscar frases exactas. Para la búsqueda en las bases de datos científicas WOS, Scopus e IEEE Xplore, utilizamos una cadena de búsqueda específica para cada base de datos. Las cadenas de búsqueda específicas utilizadas en cada base de datos científica se enumeran a continuación:

- **WOS:** ((TI="web accessibility" OR TI= accessibilit*) AND (TI=universit* OR TI="higher education" OR TI= education*) AND (AB=website* OR AB= "web site" OR AB="web sites" OR AB=web OR AB= portal) AND (AB=eval* OR AB=anal*));

4 Recopilación del estado de la cuestión

No.	Preguntas de investigación	Objetivos	Resultados esperados
RQ4	¿Cuáles son las normas de accesibilidad web utilizadas para evaluar los sitios web universitarios?	Determinar la norma de accesibilidad web utilizada para evaluar los sitios web universitarios.	ISO/IEC 40500:2012, Section 508, etc.
RQ5	¿Cuáles son las leyes de accesibilidad mencionadas?	Determinar las leyes de accesibilidad mencionadas en los documentos seleccionados.	SI 5568, Ley Stanca, etc.
RQ6	¿Cómo se utilizan las WCAG para evaluar los sitios web universitarios?	Determinar las versiones de las WCAG, los niveles de conformidad y la metodología WCAG-EM utilizada para evaluar los sitios web universitarios.	WCAG, niveles de conformidad y metodología WCAG-EM.
RQ6.1	¿Cuáles son las versiones de las WCAG utilizadas para evaluar los sitios web universitarios?	Determinar las WCAG utilizadas para evaluar los sitios web universitarios.	WCAG 1.0, WCAG 2.0, WCAG 2.1, WCAG 2.2
RQ6.2	¿Cuáles son los niveles de conformidad utilizados para evaluar los sitios web universitarios?	Determinar los niveles de conformidad utilizados para evaluar los sitios web universitarios.	A, AA, AAA
RQ6.3	¿Se utiliza las WCAG-EM para evaluar los sitios web universitarios?	Determinar si se utiliza la metodología WCAG-EM para evaluar los sitios web universitarios.	Si o No

Tabla 4.6: Preguntas de investigación relacionadas con las normas, leyes y métodos aplicados en la selección - ¿Qué normas se utilizaron para la evaluación?

- **Scopus:** (TITLE (“web accessibility” OR accessibilit*)) AND TITLE ((universit* OR “higher education” OR education)) AND TITLE-ABS ((eval* OR anal*)) AND TITLE-ABS ((website* OR “web site” OR “web sites” OR web OR portal))));
- **IEEE Xplore:** (“Document Title”:“web accessibility” OR “Document Title”: accessibilit*) AND (“Document Title”:universit* OR “Document Title”:“higher edu-

4.2 Accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el mundo

No.	Preguntas de investigación	Objetivos	Resultados esperados
RQ7	¿Cuáles son los métodos utilizados para evaluar las páginas web de las universidades?	Determinar los métodos utilizados para evaluar la accesibilidad de los sitios web universitarios.	Evaluación automática, evaluación manual, evaluación manual y automática.
RQ8	¿Qué herramientas automáticas se utilizan para evaluar los sitios web universitarios?	Identificar las herramientas de evaluación automática que han ayudado a evaluar los sitios web universitarios.	AChecker, TAW, TENON, WAVE y otros.
RQ9	¿Qué expertos y usuarios ayudaron a evaluar los sitios web de las universidades?	Identifique a los expertos y usuarios reales que ayudaron a evaluar la accesibilidad de los sitios web universitarios.	Usuarios ciegos, sordos, investigadores, estudiantes, profesores, etc.

Tabla 4.7: Preguntas de investigación relacionadas con los métodos, herramientas y tipos de usuarios que han evaluado la accesibilidad - ¿Qué métodos se utilizaron para la evaluación?

No.	Preguntas de investigación	Objetivos	Resultados esperados
RQ10	¿Cuáles son los principales errores encontrados en los sitios web universitarios?	Determine los principales errores de accesibilidad que se han encontrado en los sitios web universitarios por prioridad o principio.	Alternativas de texto, idioma, estructura de las tablas, navegación, contenido de los formularios, interacción con el teclado, etc.
RQ11	¿Cuál es el estado de cumplimiento de la accesibilidad de los sitios web de las universidades?	Determinar el estado de cumplimiento de la accesibilidad de los sitios web de las universidades analizadas.	Cumple o No cumple.

Tabla 4.8: Preguntas de investigación relacionadas con los errores de accesibilidad y los niveles de conformidad - ¿Qué resultados se obtuvieron?

Alcance	Términos de sustitución
Contexto	(website* OR “web site” OR “web sites” OR web OR portal) AND
Accesibilidad	(“web accessibility” OR accessibilit*) AND
Educación	(universit* OR “higher education” OR education*) AND
Tipo de investigación	(eval* OR anal*)

Tabla 4.9: Alcance de la búsqueda

cation” OR “Document Title”:education*) AND (“Abstract”:website* OR “Abstract”：“web site” OR “Abstract”：“web sites” OR “Abstract”:web OR “Abstract”:portal) AND (“Abstract”:eval* OR “Abstract”:anal*)).

El título, el resumen y las palabras clave describen de forma concreta lo que se encontrará en el contenido de un artículo. Por este motivo, se han creado tres cadenas de búsqueda específicas para buscar las palabras clave y los términos de sustitución definidos en la Tabla 4.9, en los títulos y resúmenes de los artículos publicados en las bases de datos científicas.

Criterios de inclusión y exclusión. El proceso de selección de los estudios desempeña un papel muy importante en los resultados de la SLR. Por lo tanto, se evaluaron todos los estudios encontrados con las cadenas de búsqueda para determinar si debían incluirse en esta investigación. Los artículos que no cumplían todos los criterios de inclusión fueron excluidos de la revisión. Se excluyeron los artículos que cumplían al menos uno de los criterios de exclusión. No se tuvo en cuenta el año de publicación de los artículos como parámetro de inclusión y exclusión. A continuación se presentan los criterios de inclusión utilizados en esta SLR:

- I1. Artículos publicados en una revista AND;
- I2. Artículos escritos en inglés AND;
- I3. Artículos que mencionan la accesibilidad de los sitios web universitarios en el resumen.

El criterio de exclusión se utilizó para descartar los artículos que cumplían las siguientes condiciones:

- E1. Artículos de investigación secundaria (por ejemplo, una SLR) OR;
- E2. Artículos duplicados OR;
- E3. Artículos que no son de investigación (por ejemplo, cartas al editor, erratas).

Evaluación de la calidad. La QA pretende contribuir a la selección de los artículos a través de un conjunto de preguntas que deben ser respondidas para orientar la investigación [14]. También se ha incorporado a las preguntas de calidad la indexación de las revistas en las que se han publicado los artículos (SJR y JCR). Además, se han definido 7 preguntas para medir la calidad de cada artículo. Cada pregunta tiene una puntuación de 1, por lo que la puntuación total máxima es de 7. Cabe recalcar, que las preguntas de evaluación de la calidad (ver Tabla 4.3) aplicadas a cada artículo son las mismas que se definen y explican en la sección 4.1.2.2 apartado “Evaluación de la calidad”.

4.2.3. Realización de la revisión sistemática de la literatura

4.2.3.1. Identificación de la investigación

Una SLR permite analizar la literatura sobre temas de investigación específicos. Para desarrollar una SLR, es necesario determinar los términos de búsqueda y definir las bases de datos científicas donde se realizará la búsqueda. En un estudio realizado en 2019 [40], se evaluó la calidad de búsqueda de PubMed, Google Scholar y otras 26 bases de datos de búsqueda académica; los resultados mostraron que Google Scholar no es adecuado como recurso de búsqueda principal. Por esta razón, para esta SLR se seleccionaron las bases de datos científicas más notables en el ámbito de la investigación, como son: WOS, Scopus y IEEE Xplore. Estimamos que estas bases de datos son suficientes porque incluso hay artículos duplicados en los resultados de la búsqueda, es decir, el mismo trabajo aparece en varias bases de datos al mismo tiempo, lo que demuestra que la cobertura de estas bases de datos científicas es muy alta. Esta colección de bases de datos de referencias bibliográficas se seleccionó siguiendo los siguientes criterios:

- Recogen las referencias de las publicaciones científicas que difunden el conocimiento científico;
- Indexan artículos de alta calidad que son revisados por pares;
- Permiten realizar búsquedas personalizadas mediante operadores de consulta.

4.2.3.2. Selección de estudios

El proceso de selección se llevó a cabo para los artículos indexados en las bases de datos científicas Scopus, WOS e IEEE Xplore hasta marzo de 2021. En la base de datos científica Scopus se encontraron 104 artículos, 99 artículos en la WOS y 16 artículos en IEEE Xplore. De los 219 artículos, la selección se realizó aplicando los criterios de inclusión y exclusión siguientes: 98 artículos se descartaron por no estar publicados en una revista (I1); 35 artículos se descartaron por no estar escritos en inglés (I2); 19 artículos se descartaron por no describir en el resumen la evaluación de sitios web universitarios (I3); 2 artículos se descartaron por ser el resultado de una SLR (E1); 23 artículos se descartaron por estar duplicados (E2) y, por último, ningún artículo se descartó por ser todos de investigación (E3). En resumen, de los 219 artículos

4 Recopilación del estado de la cuestión

encontrados, se descartaron 177 artículos, quedando 42 artículos seleccionados para esta SLR. El diagrama de flujo de la selección de estudios se puede ver en la Figura 4.3.

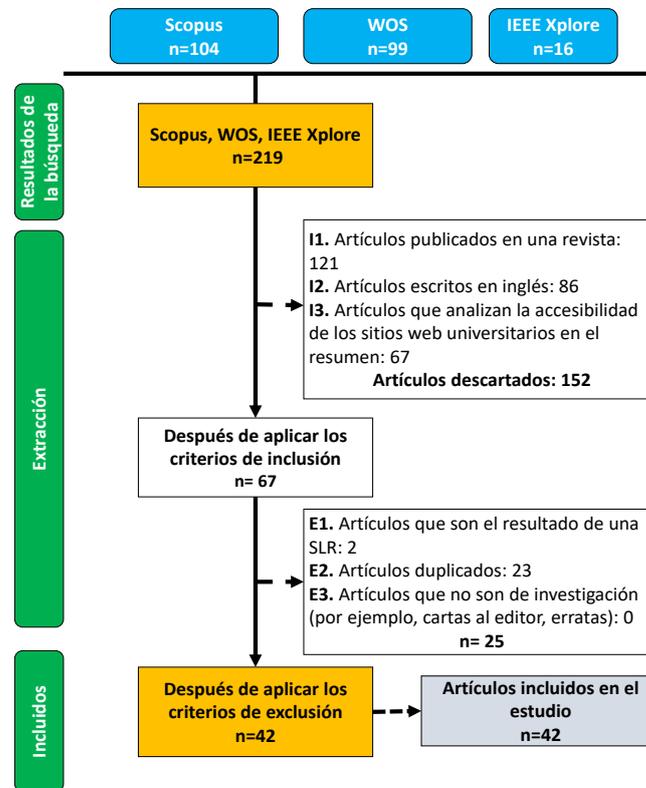


Figura 4.3: Diagrama de inclusión y exclusión de artículos en la revisión sistemática de la literatura (accesibilidad sitios web universitarios)

4.2.3.3. Evaluación de la calidad de los estudios

Para lograr el objetivo de la SLR, los artículos deben cumplir con los parámetros de evaluación de la calidad [68] definidos en la Tabla 4.3. Una vez evaluados los artículos, se realizó la suma de los resultados obtenidos de cada artículo. Luego, se normalizaron los valores obtenidos para estandarizar los resultados. Para calcular los valores finales en una escala de 0 a 1 se utilizó la fórmula (4.1) de normalización mínimo-máximo definida en la sección 4.1.3.3.

4.2.4. Resultados de la revisión sistemática de la literatura

Esta etapa tiene como objetivo responder a las preguntas y subpreguntas de investigación presentadas en las Tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8. La siguiente sección presenta la revisión de la literatura respondiendo a las preguntas RQ1 [RQ1.1, RQ1.2], RQ2 [RQ2.1, RQ2.2], RQ3 [RQ3.1, RQ3.2, RQ3.3], RQ4, RQ5, RQ6 [RQ6. 1, RQ6.2, RQ6.3], RQ7,

RQ8, RQ9, RQ10 y RQ11, haciendo un resumen y una síntesis de los datos recogidos de los resultados de los estudios seleccionados.

En esta sección, presentamos en primer lugar los resultados de la QA de los artículos seleccionados. En segundo lugar, respondemos a cada una de las preguntas de investigación resumiendo y discutiendo los resultados de los artículos seleccionados.

En la Tabla 4.10 se muestran los 42 artículos obtenidos en el proceso de búsqueda y selección. Cada artículo incluye la referencia, el año de publicación y el nombre de la revista en la que se publicó. Además, en la Tabla 4.10 se pueden ver los resultados de la QA de cada uno de los artículos seleccionados. Esta tabla está ordenada por año de publicación. Para normalizar la suma de los valores de QA, se creó una columna de normalización en la que se calcula el valor final de cumplimiento de cada artículo entre 0 y 1. Tras el cálculo, se pudo comprobar que varios artículos obtuvieron una puntuación de 0.71, pero se incluyeron en la SLR. Estos artículos no se publicaron en revistas indexadas en SJR (QA6) y JCR (QA7).

4 Recopilación del estado de la cuestión

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[69]	2002	Interacting with Computers (IC)	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	6.50	0.92
[70]	2002	Reference and User Services Quarterly (RUSQ)	1	1	1	1	1	1	1.00	0.75	6.75	0.96
[71]	2003	Information Technology and Disabilities (ITD)	1	1	1	1	1	1	0.25	0.00	5.25	0.75
[72]	2005	Internet Research	1	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82
[73]	2007	Library Hi Tech	1	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82
[74]	2007	Journal of Special Education Technology (JSET)	1	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82
[75]	2008	Internet and Higher Education (IHE)	1	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82
[76]	2010	Disability and Rehabilitation: Assistive Technology (DRAT)	1	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82
[77]	2011	Disability and rehabilitation (DR)	1	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00
[78]	2011	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78
[79]	2013	Information Technology and Disabilities (ITD)	1	1	1	1	1	1	0.25	0.00	5.25	0.75

Continúa en la siguiente página

4.2 Accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el mundo

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[80]	2013	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85	
[45]	2014	International Education Studies (IES)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[50]	2015	International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[81]	2016	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.50	6.25	0.89	
[82]	2016	Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences (JKSUCIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82	
[83]	2016	International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)	1	1	1	1	1	0.25	0.00	5.25	0.75	

Continúa en la siguiente página

4 Recopilación del estado de la cuestión

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[53]	2016	Journal of Information and Communication Technology-Malaysia (JICT)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[54]	2017	International Journal of Online Pedagogy and Course Design (IJOPCD)	1	1	1	1	1	0.00	0.00	5.00	0.71	
[55]	2017	Journal of Information and Communication Technology (JICT)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82	
[57]	2017	Procedia Computer Science (PCS)	1	1	1	1	1	0.00	0.00	5.00	0.71	
[58]	2017	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.50	6.25	0.89	
[84]	2017	Journal of Computing in Higher Education (JCHE)	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	
[85]	2018	International Journal of High Performance Computing and Networking (IJHPCN)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82	

Continúa en la siguiente página

4.2 Accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el mundo

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[86]	2018	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (IOP)	1	1	1	1	1	0.00	0.00	5.00	0.71	
[87]	2018	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85	
[59]	2018	IEEE Access	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	
[88]	2018	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85	
[60]	2018	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.25	6.00	0.85	
[89]	2018	Journal of Accessibility and Design for All (JADA)	1	1	1	1	1	0.25	0.00	5.25	0.75	
[62]	2019	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.75	6.50	0.92	
[63]	2019	Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences (JKSUCIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82	
[65]	2019	TechTrends	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82	

Continúa en la siguiente página

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[66]	2019	IEEE Access	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	
[90]	2019	International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)	1	1	1	1	1	0.00	0.00	5.00	0.71	
[91]	2019	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.75	6.50	0.92	
[92]	2020	Information (Switzerland) (IS)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[93]	2020	Data in Brief (DB)	1	1	1	1	1	0.25	0.00	5.25	0.75	
[94]	2020	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.75	6.50	0.92	
[95]	2020	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.75	6.50	0.92	
[96]	2020	Universal Access in the Information Society (UAIS)	1	1	1	1	1	0.75	0.75	6.50	0.92	
[97]	2020	IEEE Access	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	

Tabla 4.10: Resultados de la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados, ordenados por año de publicación

4.2 Accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el mundo

El análisis bibliométrico comienza determinando la tendencia de publicación de resultados de investigación sobre la evaluación de la accesibilidad de los sitios web universitarios a lo largo del tiempo. Como dato importante, se observa un incremento en los últimos años, desde 2016 hasta 2020, en las investigaciones de accesibilidad web. Esta tendencia se puede observar en la Figura 4.4.

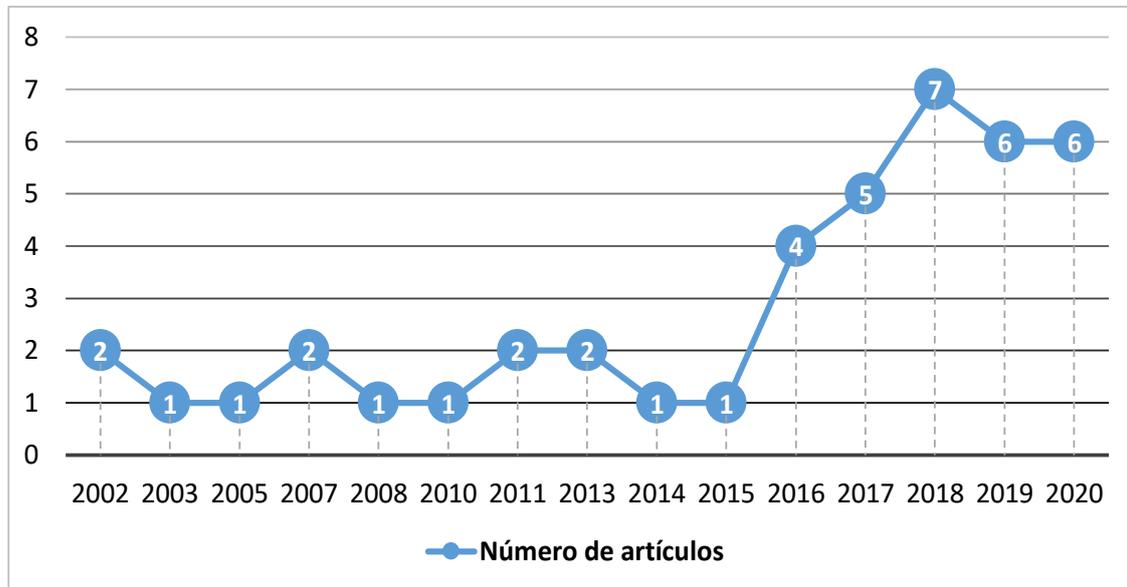


Figura 4.4: Número de artículos publicados por año

Los artículos analizados en esta SLR han sido publicados en 27 revistas. En la Tabla 4.10, podemos consultar el nombre y las siglas de cada revista. La UAIS es la revista con mayor número de artículos, lo que se considera normal, ya que la UAIS “aborda la accesibilidad, la usabilidad y, en definitiva, la aceptabilidad de las tecnologías de la sociedad de la información por parte de cualquier persona, en cualquier lugar, en cualquier momento y a través de cualquier medio y dispositivo” [98]. La Figura 4.5 muestra el número de artículos publicados por revista.

A continuación se detalla la indexación de las revistas donde se han publicado los artículos:

- 18 artículos en SJR y JCR;
- 20 artículos en SJR;
- 4 artículos no son indexados en SJR y JCR.

La Figura 4.6 muestra gráficamente el número de artículos publicados en revistas indexadas en SJR y JCR. Los cuartiles de clasificación de las revistas indexadas en SJR y JCR se determinaron por el año de publicación de los artículos. A los artículos publicados en 2020 se les asignaron los cuartiles de 2019. Las revistas que no tienen un cuartil se han colocado en la Figura 4.6 como QX.

4 Recopilación del estado de la cuestión

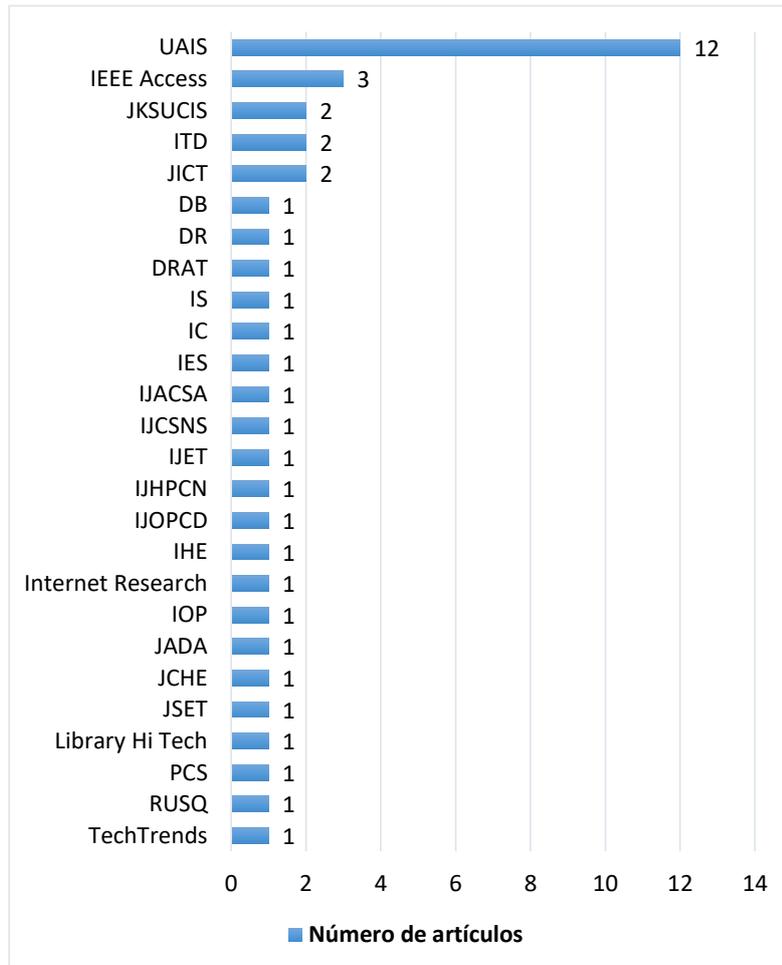


Figura 4.5: Número de artículos publicados por revista

Una vez extraídos los datos de los artículos seleccionados, se han analizado e interpretado en los resultados de esta SLR. Con estos datos, se ha podido responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué se evaluó?

Para responder a esta pregunta, hemos determinado que las páginas web evaluadas en los sitios web de las universidades son: la página de inicio de la universidad, la página de búsqueda, la lista de facultades, departamentos y/o programas de grado de la universidad, el directorio de profesores del campus, la página de admisiones, el personal y/o los estudiantes, los listados de cursos, la página de empleo, el calendario académico, los listados de trabajo, el mapa del campus y la página de inicio de la biblioteca. Además, se han evaluado los documentos PDF y los vídeos de YouTube publicados en los sitios web de la universidad.

2. ¿Qué normas se han utilizado para la evaluación?

Las normas de accesibilidad web utilizadas en la evaluación de los sitios web universitarios son: WCAG 1.0, WCAG 2.0 (ISO/IEC 40500:2012), WCAG 2.1 y

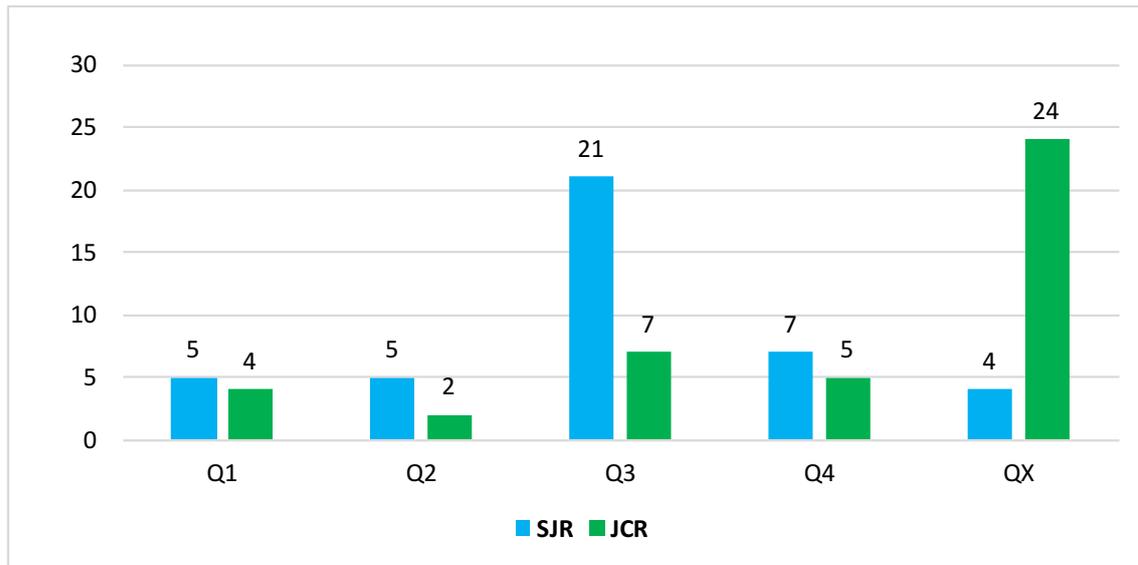


Figura 4.6: Número de artículos publicados en revistas indexadas en SJR y JCR

Section 508.

3. **¿Qué métodos se utilizaron para la evaluación?**

Los métodos de evaluación utilizados en los artículos seleccionados son: la evaluación manual, la evaluación con herramientas automáticas y la combinación de ambos métodos.

4. **¿Qué resultados se obtuvieron?**

Los resultados mostraron que las páginas web, los documentos PDF y los vídeos de YouTube evaluados en los artículos seleccionados no eran accesibles cuando se evaluaron.

En esta SLR, los resultados presentan la evaluación de la accesibilidad de 9,140 universidades en 67 países. En los artículos analizados la evaluación de la accesibilidad web se ha realizado utilizando métodos manuales, métodos con herramientas automáticas y la combinación de ambos métodos a 38,416 páginas web, 91,421 vídeos de YouTube y 28,395 documentos PDF. La mayoría de los sitios web de los artículos analizados han sido evaluados utilizando las normas ISO/IEC 40500:2012 (WCAG 2.0) y la Section 508. En conclusión, los sitios web universitarios, los vídeos de YouTube y los documentos PDF analizados en los 42 artículos presentan importantes problemas de accesibilidad (para más detalles, véase el Capítulo 15, artículo a texto completo).

4.3. Arquitectura de software de los sitios web educativos

En 2021, se realizó una SLR [20] sobre las arquitecturas de software utilizadas en los sitios web educativos de un total de 23 artículos. Con el objetivo de determinar las

arquitecturas de software utilizadas en los artículos seleccionados, las metodologías, los componentes tecnológicos y los resultados empíricos.

4.3.1. Metodología de la revisión sistemática de la literatura

La metodología de la SLR tiene como objetivo establecer una línea de base sobre un tema de interés y buscar nuevos nichos de investigación. Una SLR analiza estudios primarios con varias actividades discretas [99]. La metodología aplicada en esta SLR es la misma que se explica en la sección 4.1.1.

4.3.2. Planificación de la revisión sistemática de la literatura

4.3.2.1. Identificación de la necesidad de una revisión sistemática de la literatura

Considerando las siguientes investigaciones [14], [32]-[34] como referencia, se estableció una cadena de búsqueda para encontrar las SLR similares en la arquitectura de software de sitios web educativos y determinar si la SLR propuesta contribuirá a llenar algún vacío. Una misma cadena de búsqueda se utilizó en Scopus y en WOS. A continuación se muestra la cadena de búsqueda final que se creó tras varias iteraciones:

- TITLE (“systematic literature review” AND education* AND architectur* AND software) OR (“literature review” AND education* AND architectur* AND software) OR (“systematic review” AND education* AND architectur*)

Luego de ejecutar la cadena de búsqueda en las bases de datos científicas sólo se encontró una SLR [100] que tenía relación con nuestra propuesta.

En resumen, la SLR citada anteriormente presenta una revisión sistemática de la arquitectura e infraestructura de los sistemas de información educativa de Pakistán. Sin embargo, este estudio no es tan detallado le falta información sobre la arquitectura de software de los sitios web educativos, las metodologías, los componentes tecnológicos, los resultados empíricos y los objetivos propuestos en los artículos seleccionados. Además, la SLR propuesta está actualizada hasta junio de 2020, mientras que [100] está actualizada hasta 2013. Por lo tanto, este documento no tiene el alcance de las preguntas de investigación sobre la arquitectura de software de los sitios web educativos, ni tiene el mismo grado de detalle y precisión.

4.3.2.2. Desarrollo del protocolo de la revisión sistemática de la literatura

El objetivo de este artículo es realizar un análisis de los artículos publicados entre enero de 2009 y junio de 2020 sobre la arquitectura de software de los sitios web educativos. Para ello, es necesario elaborar un protocolo de revisión que defina las preguntas de investigación y el alcance de la SLR, la estrategia de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión y la evaluación de la calidad.

Preguntas de investigación. Las preguntas de investigación establecen la orientación sobre lo que se investigará en la SLR. Para lograr el propósito de esta SLR se

No.	Preguntas de investigación	Motivación
RQ1	¿Cuáles son los objetivos propuestos en los artículos seleccionados?	Identificar cuáles son los fines o el objetivo a alcanzar en cada trabajo seleccionado.
RQ2	¿Qué estilos de arquitectura se utilizan para desarrollar sitios web educativos?	Examinar los estilos de arquitectura que se utilizan para desarrollar sitios web educativos.
RQ3	¿Qué metodologías de desarrollo de software se utilizan en las arquitecturas de software para desarrollar sitios web educativos?	Determinar las metodologías de desarrollo de software que se utilizan en las arquitecturas de software educativo.
RQ4	¿Cuáles son los componentes tecnológicos utilizados en la arquitectura de desarrollo de software educativo?	Analizar los componentes tecnológicos utilizados en la arquitectura de desarrollo del software educativo.
RQ5	¿Cuáles son los resultados empíricos obtenidos con las arquitecturas de desarrollo de software educativo?	Extraer los resultados empíricos obtenidos sobre el tipo de resultado, los módulos de software creados, la evaluación y las limitaciones de las propuestas.

Tabla 4.11: Preguntas de investigación

establecieron cinco preguntas de investigación [20], que se presentan en la Tabla 4.11, junto con su motivación.

Estrategia de búsqueda. Una cadena de búsqueda debe ser lo más amplia posible a la hora de buscar información en una base de datos científica y debe construirse en torno a los resultados que queremos obtener. Por ello, en esta SLR, la cadena de búsqueda se crea utilizando términos derivados de las preguntas de investigación clasificadas en cuatro ámbitos que se presentan a continuación:

1. **Contexto:** web o sitios web.
2. **Educación:** escuelas o universidades.
3. **Arquitectura:** arquitectura de software o arquitectura informática.
4. **Tipo de investigación:** resultados empíricos de proyectos, infraestructuras, plataformas, prototipos, sistemas, software o desarrollos.

Además, se utilizó el operador booleano OR para conectar términos sustitutivos, y el operador booleano AND para conectar términos obligatorios. El comodín (*) permitió a los autores buscar términos escritos en singular, plural o palabras que contenían estos caracteres, y las comillas dobles encontraron frases exactas. En la Tabla 4.12 se muestra la cadena de búsqueda.

Alcance	Cadena
Contexto	(website* OR web* OR “web site*”) AND
Educación	(education* OR school* OR universit*) AND
Arquitectura	(architectur* OR “software architecture” OR “computer architecture”) AND
Tipo de investigación	(project OR infrastructure OR platform OR prototype OR system OR software* OR development)

Tabla 4.12: Cadena de búsqueda

Criterios de inclusión y exclusión. Los resultados obtenidos en una SLR dependerán del proceso de selección de los artículos. Todos los artículos encontrados con la cadena de búsqueda fueron evaluados para determinar si sus estudios contribuyen a esta SLR [101]. Además, todos los artículos seleccionados deben cumplir con los criterios de inclusión y exclusión como requisito para ser considerados en este documento. Estos criterios de inclusión y exclusión ayudarán a minimizar los riesgos y a que los resultados sean más fiables. Los criterios de inclusión definidos para la selección de los artículos son:

- I1. Un artículo de investigación completo o corto publicado en una revista.
- I2. El artículo presenta resultados empíricos.

Los artículos que se han excluido son aquellos que no cumplen alguno de los criterios que se enumeran a continuación:

- E1. Los artículos que han sido publicados antes de 2009. Este criterio se basa en las referencias [19], [34], [102], [103] que tienen un rango de fechas establecidas.
- E2. Artículos no publicados en revistas como editoriales, prólogos, discusiones, comentarios, resúmenes de tutoriales, resúmenes de talleres, paneles, etc.
- E3. Artículos no escritos en inglés.
- E4. Artículos sin la palabra clave “arquitectura de software”.
- E5. Artículos que no analizan la arquitectura de software de los sitios web educativos en el resumen.
- E6. Artículos duplicados.

Evaluación de la calidad. En este apartado se considera imprescindible evaluar la “calidad” de los artículos seleccionados, como complemento a los criterios de inclusión y exclusión [15]. Por lo tanto, el objetivo de esta evaluación de la calidad (QA) consiste en evaluar y normalizar los valores de cada trabajo seleccionado tras responder a un conjunto de preguntas de calidad. Esto permitirá encontrar estudios con resultados que permitan responder a las preguntas de investigación definidas sobre la arquitectura de software de los sitios web educativos [14]. Para lo cual, se asigna una puntuación de uno a cada pregunta de QA que se responda afirmativamente:

1. Se especifica la arquitectura de software en el artículo.
2. Se especifica el tipo de arquitectura de software utilizada.
3. Se especifica el método utilizado en las arquitecturas de software educativas.
4. Se detallan los componentes tecnológicos utilizados.
5. Se muestran resultados empíricos de la arquitectura de desarrollo de software.
6. La revista está indexada en el SJR (para obtener la puntuación del cuartil de los artículos seleccionados en el SJR, hicimos una búsqueda del nombre de la revista en el sitio web del SJR).
7. La revista está indexada en el JCR (para obtener la puntuación del cuartil de los artículos seleccionados en el JCR, se realizó una búsqueda del nombre de la revista en el sitio web JCR de Clarivate).

Las preguntas planteadas para la evaluación de la calidad pueden verse en la Tabla 4.13, donde el valor mínimo de la puntuación es igual a 0 y el valor máximo de la puntuación es igual a 7 (+1 para cada pregunta).

4.3.3. Realización de la revisión sistemática de la literatura

4.3.3.1. Identificación de la investigación

Una SLR permite, mediante un proceso de búsqueda, extraer de la literatura investigaciones sobre diferentes temas tratados y publicados. El proceso de búsqueda debe determinar las bases de datos científicas, los recursos de búsqueda, las palabras clave y los sustitutos, y los metadatos a buscar. En 2019, después de investigar 26 sistemas de búsqueda académica, PubMed y Google Scholar, los autores determinaron en sus conclusiones que “Google Scholar es inapropiado como recurso primario” [40]; por esta razón, no se utiliza como base de datos de consulta en esta SLR. Teniendo en cuenta lo anterior, para esta investigación, hemos seleccionado las siguientes fuentes académicas más significativas en educación e ingeniería del software: Scopus, ScienceDirect, WOS e IEEE Xplore. Estimamos que estas bases de datos son suficientes y que incluso hay duplicados en los resultados, es decir, un mismo artículo aparece en varias bases de datos simultáneamente, lo que demuestra que su cobertura es muy alta. La selección de las bases de datos se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Indiza artículos de alta calidad que son revisados por pares.
- Contiene las revistas que publican artículos científicos indexados en SJR y JCR.
- Permite realizar búsquedas avanzadas utilizando cadenas de consulta compuestas por palabras clave, operadores booleanos, comillas dobles, comodines, entre otros.
- Permite la búsqueda en varios campos de metadatos.

4 Recopilación del estado de la cuestión

No.	Pregunta de evaluación de la calidad	Resultados esperados
QA1	¿Está especificada la arquitectura del software en el artículo?	(+1) Si / (+0) No
QA2	¿Está especificado en el artículo el tipo de arquitectura de software utilizada?	(+1) Si / (+0) No
QA3	¿Está especificada en el artículo la metodología de software utilizada?	(+1) Si / (+0) No
QA4	¿Están detallados en el artículo los componentes tecnológicos utilizados?	(+1) Si / (+0) No
QA5	¿Está la arquitectura del software detallada en los resultados empíricos del artículo?	(+1) Si / (+0) No
QA6	¿Está el artículo en una revista indexada en SJR?	(+1) si el artículo está indexado en una revista Q1, (+0.75) si el artículo está indexado en una revista Q2, (+0.5) si el artículo está indexado en una revista Q3, (+0.25) si el artículo está indexado en una revista Q4, (+0) si el artículo no está indexado en una revista con cuartil.
QA7	¿Está el artículo en una revista indexada en el JCR?	(+1) si el artículo está indexado en una revista Q1, (+0.75) si el artículo está indexado en una revista Q2, (+0.5) si el artículo está indexado en una revista Q3, (+0.25) si el artículo está indexado en una revista Q4, (+0) si el artículo no está indexado en una revista con cuartil.

Tabla 4.13: Lista de comprobación para la evaluación de calidad de los artículos seleccionados [39]

4.3.3.2. Selección de estudios

El proceso de búsqueda y selección de los artículos se realizó en junio de 2020. Con la cadena de búsqueda definida en la Tabla 4.12, se encontraron un total de 9,561 artículos. Tras aplicar E1, se excluyeron 3,516 artículos de los 9,561 iniciales por haber sido publicados antes de 2009. Después de aplicar E2, se excluyeron 4,691 artículos por

4.3 Arquitectura de software de los sitios web educativos

no haber sido publicados en revistas. Después de aplicar E3, se excluyeron 82 artículos porque no estaban escritos en inglés. Tras aplicar E4, se excluyeron 1,125 artículos de los 1,272 restantes porque no tenían la palabra clave “arquitectura de software”. Después de aplicar E5, donde se examinaron los textos completos, se excluyeron 117 artículos de los 147 restantes. Por último, tras aplicar E6, se seleccionaron 23 artículos de los 30 restantes porque 7 estaban duplicados. Además, se excluyeron muchos artículos porque en su investigación no se consideraba la arquitectura de software en sitios web educativos, por ejemplo, artículos que publican investigaciones sobre: bibliotecas digitales, juegos, enfoques de software, requisitos de calidad para el desarrollo de software, desarrollo de aplicaciones, pruebas y verificación de software, etc. que no son el objetivo de esta SLR. En la Figura 4.7 podemos ver el diagrama de inclusión/exclusión de los artículos.

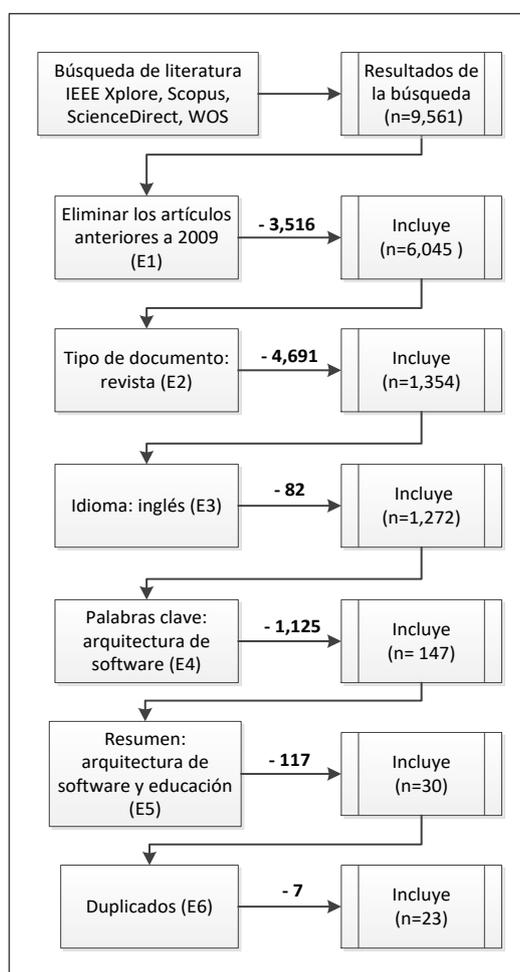


Figura 4.7: Diagrama de inclusión y exclusión de artículos en la revisión sistemática de la literatura (arquitectura de software de los sitios web educativos)

4.3.3.3. Evaluación de la calidad de los estudios

La evaluación de la calidad permite determinar si los artículos seleccionados cumplen con los parámetros que ayudarán a lograr el objetivo de la SLR [68]. La evaluación de la calidad se ha realizado aplicando la lista de comprobación que se presenta en la Tabla 4.13. Los valores obtenidos se han sumado y normalizado para seleccionar los artículos que tienen una puntuación superior a 0.70 para asegurar la contribución de cada trabajo a la SLR.

Los resultados del control de calidad de cada uno de los artículos seleccionados pueden verse en la Tabla 4.14. También, se incluye una columna de normalización para determinar el valor final de cumplimiento de las preguntas de calidad de cada trabajo entre 0 y 1. Para calcular los valores finales se utilizó la fórmula (4.1) de normalización mínimo-máximo definida en la sección 4.1.3.3.

4.3 Arquitectura de software de los sitios web educativos

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[104]	2009	IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE)	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	
[105]	2010	Journal of Systems and Software (JSS)	1	1	1	1	1	1.00	0.75	6.75	0.96	
[106]	2011	Robotics and Autonomous Systems (RAS)	1	1	1	1	1	1.00	0.50	6.50	0.92	
[107]	2011	Expert Systems with Applications (ESA)	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	
[108]	2011	IEEE Transactions on Learning Technologies (TLT)	1	1	1	1	1	0.75	0.50	6.25	0.89	
[109]	2011	Journal of Pain and Symptom Management (JPSM)	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	
[110]	2012	International Journal of Sustainability in Higher Education (IJSHE)	1	1	1	1	1	0.75	0.75	6.50	0.92	
[111]	2014	Journal of Visual Languages and Computing (JVLC)	1	1	1	1	1	0.75	0.50	6.25	0.89	
[112]	2015	IEEE Transactions on Learning Technologies (TLT)	1	1	1	1	1	0.75	0.50	6.25	0.89	

Continúa en la siguiente página

4 Recopilación del estado de la cuestión

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[113]	2015	International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[114]	2016	Environmental Modelling and Software (EMS)	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	
[115]	2016	Science of Computer Programming (SCP)	1	1	1	1	1	0.75	0.50	6.25	0.89	
[116]	2017	IEEE Transactions on Learning Technologies (TLT)	1	1	1	1	1	0.75	0.50	6.25	0.89	
[117]	2017	Journal of Systems and Software (JSS)	1	1	1	1	0	1.00	1.00	6.00	0.85	
[118]	2017	TEM Journal (TEM)	1	1	1	1	1	0.00	0.00	5.00	0.71	
[119]	2017	International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering (IJSEKE)	1	1	1	1	1	0.25	0.25	5.50	0.78	
[120]	2017	Educational Technology and Society (ETS)	1	1	1	1	1	1.00	0.75	6.75	0.96	
[121]	2017	Computers in Human Behavior (CHB)	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	

Continúa en la siguiente página

Artículo	Publicación		Evaluación de la calidad									
	Año	Nombre	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	QA7	Score	Normalización	
[122]	2017	International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[123]	2018	Journal of Parallel and Distributed Computing (JPDC)	1	1	1	1	1	0.75	0.75	6.50	0.92	
[124]	2019	International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)	1	1	1	1	1	0.50	0.00	5.50	0.78	
[125]	2019	International Journal of Information and Learning Technology (IJILT)	1	1	1	1	1	0.75	0.00	5.75	0.82	
[126]	2019	IEEE Access	1	1	1	1	1	1.00	1.00	7.00	1.00	

Tabla 4.14: Resultados de la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados, ordenados por año de publicación

4.3.4. Resultados de la revisión sistemática de la literatura

Esta etapa tiene como objetivo responder las preguntas de investigación presentadas en la Tabla 4.11, haciendo una síntesis e interpretación de los datos y resultados de los estudios seleccionados. Con la información bibliométrica extraída de los artículos seleccionados, se realizó un análisis para determinar la evolución y el interés del tema de investigación. Además, fue posible evaluar la actividad científica y el impacto tanto de la investigación como de las fuentes. Los datos revelan que los artículos seleccionados fueron publicados en 18 revistas. El mayor número de publicaciones se produjo en 2017 con 7 artículos; 4 artículos se publicaron en 2011; 3 artículos en 2019; 2 artículos en 2015 y 2016; y 1 artículo en 2009, 2010, 2012, 2014 y 2018. La mayoría de las investigaciones seleccionadas han sido publicadas en revistas indexadas en la colección de bases de datos de la WOS. Los países que más contribuyen al tema de la arquitectura de software son España, China y Estados Unidos. Las fuentes de publicación de los artículos seleccionados son 4 artículos indexados en revistas SJR, 18 artículos indexados en revistas SJR y JCR y 1 trabajo cuya revista no está indexada ni en SJR ni en JCR. En SJR, 10 artículos fueron indexados en revistas Q1, 7 artículos fueron indexados en revistas Q2, 4 artículos fueron indexados en revistas Q3 y 1 trabajo en una revista indexada en Q4. En JCR, se publicaron 7 artículos en revistas indexadas en Q1, 4 artículos en revistas indexadas en Q2, 6 artículos en revistas indexadas en Q3 y 1 trabajo en una revista indexada en Q4. En el momento de redactar este documento, no se han publicado los cuartiles de SJR y JCR de 2020. Por lo tanto, esta SLR utiliza los cuartiles de 2019 para los artículos publicados en 2020.

Un hallazgo importante encontrado en los artículos seleccionados es que la “arquitectura por capas” es la más utilizada para el desarrollo de sitios web educativos. Esta arquitectura agrupa funcionalidades relacionadas en diferentes capas de forma vertical, una sobre otra. La arquitectura en capas también es apropiada si se deben soportar diferentes dispositivos y tipos de clientes, o si se deben implementar reglas y procesos de negocio complejos y/o configurables. Las ventajas de la arquitectura en capas son la abstracción, el aislamiento, la capacidad de gestión, el rendimiento, la reutilización y la posibilidad de realizar pruebas [127]. Por lo tanto, tomando esta arquitectura de software como referencia, se pueden desarrollar entornos educativos colaborativos en línea para fomentar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Otro hallazgo importante en los artículos seleccionados es la metodología de desarrollo de software de “ingeniería dirigida por modelos” utilizada para la creación de sitios web educativos. La ingeniería dirigida por modelos ayuda a reducir los riesgos al combinar fragmentos de código probados según la especificación del modelo, que es más fácil de entender que el código fuente [128]. Además, este enfoque garantiza en gran medida la calidad del producto de software por su alto nivel de abstracción, productividad, compatibilidad, portabilidad, menor tiempo de comercialización y costes de mantenimiento [129]. En 2020, Ordoñez, Hilera y Cueva [130] realizaron una SLR sobre el desarrollo dirigido por modelos de software accesible. Los autores afirman que el enfoque dirigido por modelos ha atraído la atención de la comunidad de desarrollo de software accesible por su capacidad de generar código a partir de modelos. Además, contribuye a los requisitos de calidad del software, como los relacionados con el rendimiento, la funcionalidad, la interacción persona-ordenador (usabilidad y accesibilidad),

la compatibilidad, la fiabilidad, la mantenibilidad, la seguridad y la portabilidad, que están representados en la norma ISO/IEC 25010 [131]. Por lo tanto, la incorporación de las normas de calidad (accesibilidad, usabilidad, etc.) de una manera holística ayudará a evitar que se vulneren los derechos e intereses legales de las personas con y sin discapacidad y a garantizar una educación en línea inclusiva.

Otro punto importante son los componentes tecnológicos utilizados para el desarrollo de sitios web educativos en los artículos seleccionados. En la Fig. 4.8 podemos ver los componentes tecnológicos más utilizados en el desarrollo de sitios web educativos.

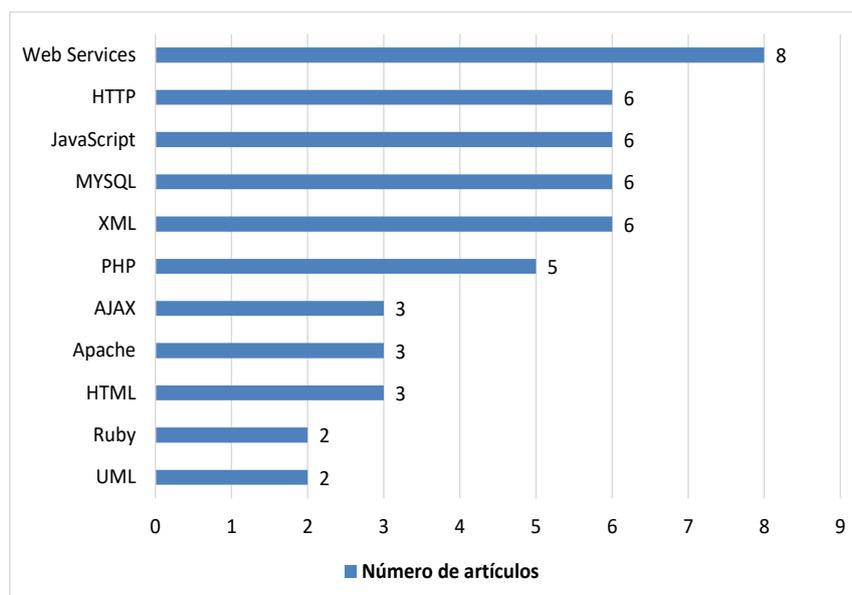


Figura 4.8: Componentes tecnológicos más utilizados en el desarrollo de software de sitios web educativos

En esta SLR, los resultados mostraron que los sitios web educativos analizados en los artículos proponen una arquitectura de software, desarrollan un sistema, proponen un modelo, evalúan una plataforma, proponen el mantenimiento de una ontología, revisan el diseño del hogar inteligente y proponen una plataforma basada en la web. En conclusión, se presentaron experiencias narradas de proyectos o individuos que buscan mejorar el aprendizaje colaborativo en el área educativa. Un hallazgo importante es que las arquitecturas de software propuestas no contemplan los estándares de accesibilidad para un acceso universal (para más detalles, véase el Capítulo 14, artículo a texto completo).

4.4. Conclusiones

Los hallazgos obtenidos de las SLR tras analizar, comparar e interpretar los resultados de la accesibilidad de los sitios web educativos y universitarios determinaron que se han utilizado para la evaluación métodos manuales, métodos con herramientas automáticas y la combinación de ambos métodos. La mayoría de los sitios web de los artículos analizados han sido evaluados utilizando las normas ISO/IEC 40500:2012 (WCAG 2.0)

4 Recopilación del estado de la cuestión

y la Section 508. Los sitios web educativos y universitarios presentan importantes problemas de accesibilidad. Además, estos muestran algunos tipos de violaciones similares a lo largo del tiempo con los criterios de éxito de las WCAG. También, es importante recalcar los cambios de versiones de las WCAG 1.0 a las 2.0 y luego la reciente aparición de las 2.1, su evolución en el uso para la evaluación de la accesibilidad de los sitios web educativos y universitarios en el mundo.

Asimismo, cabe señalar que los sitios web educativos y universitarios no parecen haber sido creados teniendo en cuenta la accesibilidad web. Esto puede deberse a la falta de conocimientos de los desarrolladores de los sitios web y el no tener un modelo establecido para su aplicación. Sin embargo, las instituciones educativas y universidades tienen el deber de hacer accesibles sus sitios web, para proporcionar un acceso universal a sus contenidos. De igual forma, en las arquitecturas de desarrollo de software no se contemplan los estándares de accesibilidad para un acceso universal a la Web. La utilización de las recomendaciones de las WCAG en los sitios web hará que los contenidos sean más accesibles para un mayor número de personas con discapacidad.

5 Resultados obtenidos

Teniendo en cuenta la falta de accesibilidad en los sitios web y su contenido, se ha desarrollado un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad web. El modelo de proceso es la integración del ciclo Deming [132] [133], la metodología WCAG-EM [31] y la gestión de la calidad total (*Total Quality Management*, TQM) [134].

5.1. Modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de sitios web

Este modelo de proceso está dividido en cuatro fases y siete etapas. El mapa de la integración del ciclo Deming, la metodología WCAG-EM y TQM se puede ver en la Figura 5.1.

El objetivo de este modelo de proceso es que las organizaciones comprueben continuamente la accesibilidad de sus sitios web para hacerlos más accesibles. Las fases y etapas del modelo de proceso propuesto deben aplicarse de forma secuencial, ya que los resultados de una etapa son la entrada de la siguiente. Además, el uso de este modelo de proceso en los sitios web evitará problemas legales por el incumplimiento de la normativa de accesibilidad web y la violación de los derechos de las personas con discapacidad en la Web. También, este modelo de proceso tiene un ciclo infinito de iteraciones para realizar pruebas continuas la accesibilidad de los sitios web.

5.1.1. Fase I - Planear

La planificación se centra en la identificación de los objetivos y el marco de despliegue de las actividades para lograr la calidad [135]. Por lo tanto, la planificación de las pruebas continuas de accesibilidad web implica la organización del proceso mediante el desarrollo de las acciones necesarias para recoger y evaluar la información de forma organizada y estructurada. Además, debe utilizar los principios de calidad para garantizar el rigor del proceso y una mayor objetividad en los resultados. Esta fase tiene como

5 Resultados obtenidos

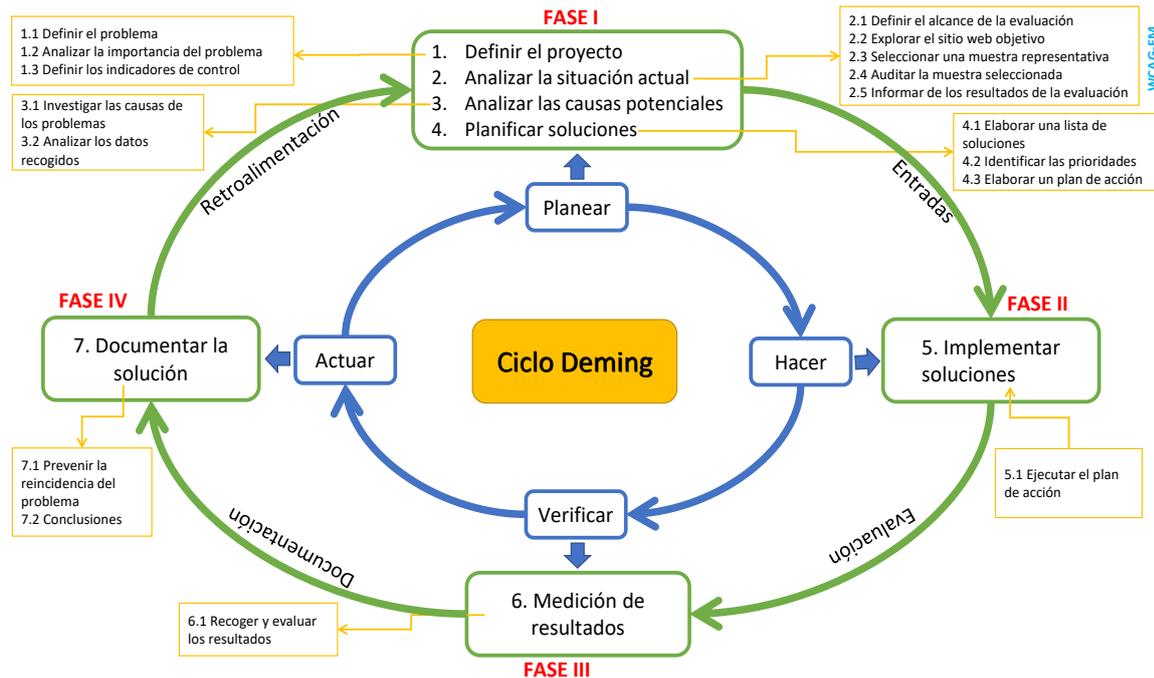


Figura 5.1: Modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad web

objetivo definir el proyecto, analizar la situación actual, analizar las posibles causas y planificar las soluciones. El procedimiento del modelo de planificación de la evaluación se puede ver en la Figura 5.2.

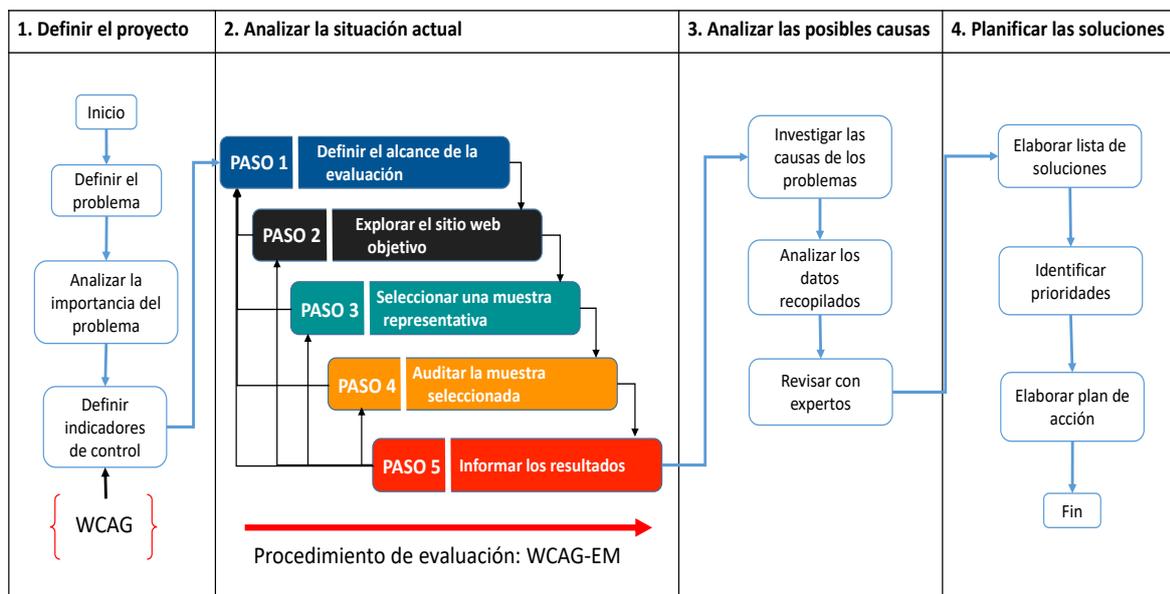


Figura 5.2: Procedimiento del modelo de planificación de la evaluación

5.1.2. Fase II - Hacer

En esta fase se ejecuta el plan de acción. Sin embargo, no basta con establecer un plan de acción; es necesario supervisar continuamente el cumplimiento de la lista de soluciones. Además, es fundamental en la ejecución del plan de acción realizar pruebas de aceptación que incluyan la evaluación de los indicadores claves de rendimiento (*Key Performance Indicator*, KPI) de interés (como el rendimiento, la seguridad, entre otros) y si cumple con los objetivos establecidos [136]. También es necesario definir estrategias que aporten soluciones a los problemas que puedan surgir durante la ejecución del plan. La Figura 5.3 muestra el proceso de ejecución de los KPI del plan de acción. Este proceso comienza con el análisis de los KPI definidos en el plan de acción. A continuación, se resuelven los errores entendiendo las técnicas y fallos de las WCAG hasta que los sitios web cumplan con los criterios de éxito y niveles de conformidad.

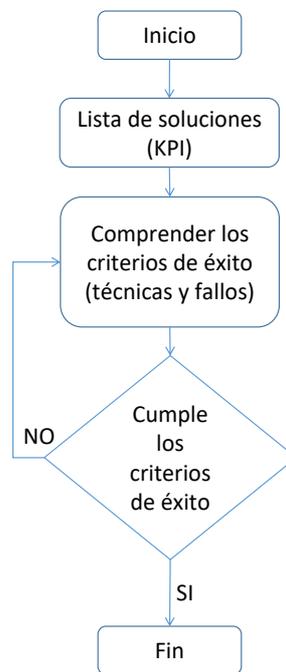


Figura 5.3: Proceso de ejecución de los KPI del plan de acción

5.1.3. Fase III - Verificar

En esta fase se recogen los datos de control y evalúan los resultados. Esto se hace mediante evaluaciones continuas del sitio web para medir el cumplimiento de los problemas de accesibilidad enumerados en el Plan de Solución. Según la norma ISO/IEC 25000:2005 [137], la evaluación de la calidad del software es un “examen sistemático de la medida en que un producto de software es capaz de satisfacer las necesidades declaradas e implícitas”. Por lo tanto, el objetivo de esta fase es medir el cumplimiento de los KPI e identificar nuevos problemas de accesibilidad generados por los cambios en los sitios web.

5.1.4. Fase IV - Actuar

Esta fase resume el proceso aprendido, que permitirá resolver problemas de accesibilidad similares y prevenirlos. El objetivo de esta fase es documentar todas las soluciones llevadas a cabo para cumplir con las recomendaciones de las WCAG en los sitios web. Además, determina el cumplimiento de la accesibilidad de los sitios web analizados. También, si en los resultados finales persisten algunos problemas de accesibilidad y/o hay otros nuevos que no están incluidos en el plan de acción, hay que repetir las fases I, II, III y IV.

5.1.5. Caso de estudio

Finalmente, después del desarrollo del modelo de proceso, se verificó su viabilidad utilizando un caso de estudio. El caso de estudio se llevó a cabo en el portal web del Laboratorio *Human Computer Interaction* (HCI)¹, evaluado con las herramientas de evaluación automática Axe² y HTMLCS³, encontrando 32 problemas de accesibilidad en los criterios de éxito WCAG 2.1 con niveles de conformidad A y AA. Estos problemas de accesibilidad se consideraron KPI a resolver en el Plan de Solución y el Plan de Acción. Teniendo en cuenta los problemas de accesibilidad, entendimos las técnicas y los fallos de los criterios de éxito y sus ejemplos, que resolvían los problemas en el código HTML y CSS del portal web HCI. Los resultados mostraron que de los 32 KPI, se resolvieron 24 en la primera iteración del modelo de proceso. Estos resultados corroboraron la viabilidad del modelo de proceso, ya que mejoró la accesibilidad del portal web HCI en un 75%. Esta comprobación se realizó reevaluando el portal web HCI con las mismas herramientas de evaluación automática aplicadas al principio (para más detalles, véase el Capítulo 16, artículo a texto completo).

5.2. Conclusiones

La pandemia del SARS-CoV-2 ha obligado a las organizaciones a adaptarse a las nuevas condiciones empresariales mediante la transformación digital de muchos procesos [138]. Esta transformación ha llegado para quedarse en las organizaciones. Las organizaciones han tenido que evolucionar y beneficiarse de la expansión de internet y de los dispositivos tecnológicos de última generación. Con el incremento de las plataformas digitales, se ha hecho imprescindible que los recursos web sean totalmente accesibles para todas las personas incluidas las personas con discapacidad [139]. Por ello, se ha realizado el modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de los sitios web utilizando las WCAG. Se trata de un modelo de proceso que permite a cualquier organización o entidad implantar la accesibilidad en sus sitios web independientemente de su dedicación para llegar a un público más amplio en la Web. Este modelo de proceso permite evaluar, corregir errores, proporcionar retroalimentación desde una perspectiva sistémica y ofrecer accesibilidad universal en la Web.

¹<https://hci.ucacue.edu.ec/>

²<https://www.deque.com/axe/>

³http://squizlabs.github.io/HTML_CodeSniffer/

Parte III

COMPENDIO DE ARTÍCULOS

6 Compendio

El compendio de publicaciones se presenta de forma cronológica en una línea del tiempo. En la Figura 6.1 podemos ver de forma gráfica los años donde se han publicado los artículos sobre la accesibilidad de los sitios web educativos, las revisiones sistemáticas de la literatura y la propuesta del modelo de proceso que son incluidas en este compendio. Esta línea del tiempo describe el año, mes y país de celebración de las conferencias y el año, mes de publicación y país de la editorial de las revistas.

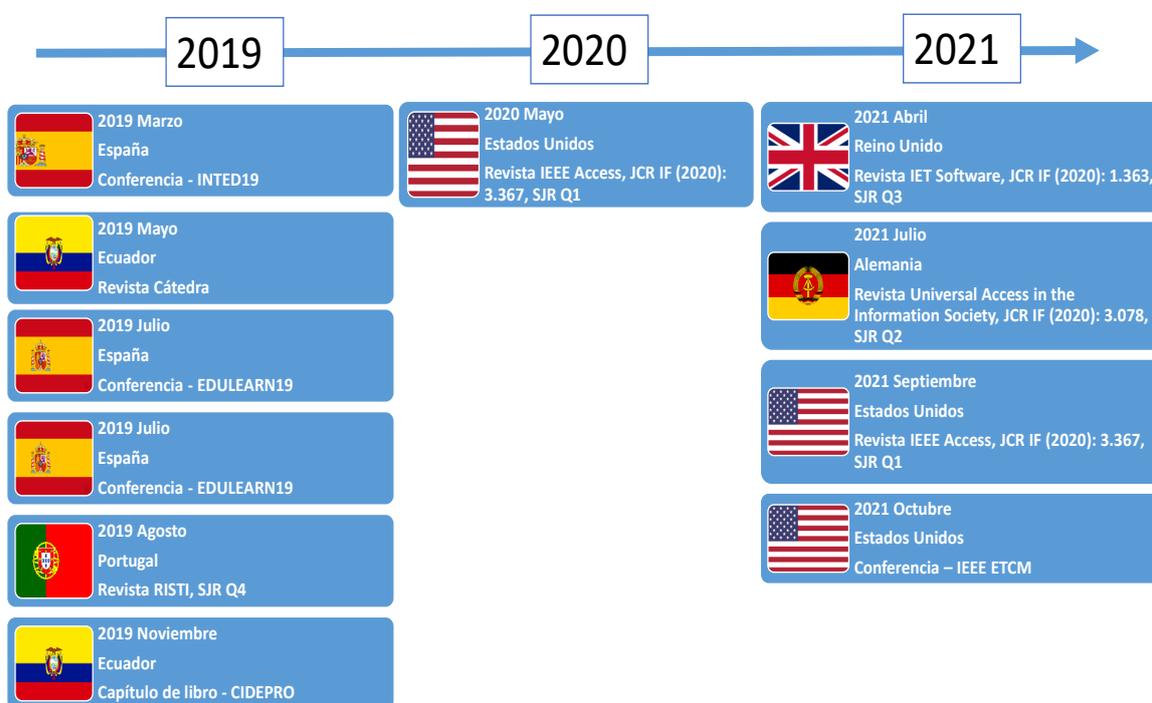


Figura 6.1: Línea del tiempo de las publicaciones del compendio

Las publicaciones descritas en la línea del tiempo detallan el mes, año, país y nombre

6 Compendio

de la revista o conferencia en donde fueron publicados cada uno de los artículos. Cabe recalcar que todos los artículos fueron evaluados por pares revisores para su aceptación y publicación. De los 11 artículos descritos en la línea del tiempo, dos fueron publicados en la revista IEEE Access que tienen un factor de impacto (2020) de 3.367 en el JCR con cuartil 2 (Q2) y en SJR con un factor de impacto de 0.59 con cuartil 1 (Q1); uno en la revista Universal Access in the Information Society que tiene un factor de impacto (2020) de 3.078 en el JCR con cuartil 2 (Q2), y en SJR con un factor de impacto de 0.49 con cuartil 2 (Q2); uno en la revista IET Software que tiene un factor de impacto (2020) de 1.363 en el JCR con cuartil 3 (Q3), y en SJR con un factor de impacto de 0.31 con cuartil 3 (Q3) y uno en la revista RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao con un factor de impacto de 0.14 en SJR con cuartil 4 (Q4). De los seis artículos restantes, uno fue publicado en la revista Cátedra indexada en Latindex catálogo 2.0, cuatro fueron publicados en congresos internacionales y un capítulo de libro publicado por la editorial CIDEPRO.

7 Retrospective analysis of accessibility of the educational web portals: the Ecuadorian case

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Retrospective Analysis of Accessibility of the Educational Web Portals: The Ecuadorian Case», en 13th International Technology, Education and Development Conference (INTED2019 Proceedings), Valencia, España: IATED, mar. de 2019, págs. 3774-3783, doi: 10.21125/inted.2019.0961 [23].

Disponible en:

- <https://library.iated.org/view/CAMPOVERDEMOLINA2019RET>
- <https://doi.org/10.21125/inted.2019.0961>

Temas a los que aporta:

1. Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los sitios web con las WCAG y un nivel de conformidad A, AA y AAA.

8 Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador

Referencia:

M. Campoverde-Molina y L. Valverde, «Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador», *Cátedra*, vol. 2, no. 2, págs. 55-75, may. de 2019, doi: 10.29166/catedra.v2i2.1646 [17].

Disponible en:

- <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/CATEDRA/article/view/1646>
- <https://doi.org/10.29166/catedra.v2i2.1646>

Temas a los que aporta:

1. Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los sitios web con las WCAG y un nivel de conformidad A, AA y AAA.

9 Web accessibility in the web portals of the educational institutions of Ecuador. Preliminary analysis

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García, «Web Accessibility in the Web Portals of the Educational Institutions of Ecuador. Preliminary Analysis», en 11th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDU-LEARN19 Proceedings), Palma, España: IATED, jul. de 2019, págs. 4697-4707, doi: 10.21125/edulearn.2019.1171 [25].

Disponible en:

- <https://library.iated.org/view/CAMPOVERDEMOLINA2019WEB>
- <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.1171>

Temas a los que aporta:

1. Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los sitios web con las WCAG y un nivel de conformidad A, AA y AAA.

10 Accessibility analysis of electronic documents published in educational web portals: the Ecuadorian case

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García, «Accessibility Analysis of Electronic Documents Published in Educational Web Portals: The Ecuadorian Case», en 11th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN19 Proceedings), Palma, España: IATED, jul. de 2019, págs. 4686-4696, doi: 10.21125/edulearn.2019.1170 [24].

Disponible en:

- <https://library.iated.org/view/CAMPOVERDEMOLINA2019ACC>
- <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.1170>

Temas a los que aporta:

1. Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los documentos electrónicos publicados en los sitios web con las WCAG.

11 Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012», RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao, no. E22, págs. 53-68, ago. de 2019 [18].

Disponible en:

- <http://www.risti.xyz/issues/ristie22.pdf>

Temas a los que aporta:

1. Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los sitios web con las WCAG y un nivel de conformidad A, AA y AAA.

12 Análisis de accesibilidad web en las instituciones educativas públicas y fiscomisionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Análisis de accesibilidad web en las instituciones educativas públicas y fiscomisionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012», en Transformación digital en las organizaciones, L. P. Ayabaca y J. K. V. Durán, eds., Centro de Investigación y Desarrollo Profesional (CIDEPRO): Babahoyo, Ecuador, 2019, cap. 1, págs. 11-21, doi: 10.29018/978-9942-823-15-1 [27].

Disponible en:

- <http://libros.cidepro.org/index.php/cidepro/catalog/book/42>
- <https://doi.org/10.29018/978-9942-823-15-1>

Temas a los que aporta:

1. Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los sitios web con las WCAG y un nivel de conformidad A, AA y AAA.

13 Empirical studies on web accessibility of educational websites: a systematic literature review

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García, «Empirical Studies on Web Accessibility of Educational Websites: A Systematic Literature Review», IEEE Access, vol. 8, págs. 91676-91700, 2020, doi:10.1109/ACCESS.2020.2994288 [19].

Disponible en:

- <https://ieeexplore.ieee.org/document/9092982>
- <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2994288>

Temas a los que aporta:

1. Analizar el estado de la cuestión de la accesibilidad en sitios web que despliegan contenidos educativos.

14 Systematic literature review on software architecture of educational websites

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Systematic literature review on software architecture of educational websites», IET Software, vol. 15, no. 4, págs. 239-259, 2021, doi:10.1049/sfw2.12024 [20].

Disponible en:

- <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/sfw2.12024>
- <https://doi.org/10.1049/sfw2.12024>

Temas a los que aporta:

1. Analizar el estado de la cuestión de la arquitectura de los sitios web que despliegan contenidos educativos.

15 Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review», *Universal Access in the Information Society*, 2021, doi:10.1007/s10209-021-00825-z [21].

Disponible en:

- <https://link.springer.com/article/10.1007/s10209-021-00825-z>
- <https://doi.org/10.1007/s10209-021-00825-z>

Temas a los que aporta:

1. Analizar el estado de la cuestión de la accesibilidad en sitios web que despliegan contenidos educativos.

16 Process model for continuous testing of web accessibility

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Process Model for Continuous Testing of Web Accessibility», IEEE Access, vol. 9, págs. 139576 - 139593, 2021, doi:10.1109/ACCESS.2021.3116100 [22].

Disponible en:

- <https://ieeexplore.ieee.org/document/9551272>
- <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3116100>

Temas a los que aporta:

1. Proponer un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad en los sitios web.
2. Corroborar la aplicabilidad del modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad en los sitios web.

17 Evaluation of the accessibility of the homepages of the web portals of Ecuadorian higher education institutions ranked in Webometrics

Referencia:

M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Evaluation of the Accessibility of the Homepages of the Web Portals of Ecuadorian Higher Education Institutions Ranked in Webometrics», en 2021 IEEE Fifth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), Cuenca, Ecuador: IEEE, oct. de 2021, págs. 259-264, doi: 10.1109/ETCM53643.2021.9590684 [26].

Disponible en:

- <https://ieeexplore.ieee.org/document/9590684>
- <https://doi.org/10.1109/ETCM53643.2021.9590684>

Temas a los que aporta:

1. Caracterizar la problemática de la accesibilidad en los sitios web con las WCAG y un nivel de conformidad A, AA y AAA.

Parte IV

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

18 Discusión

La necesidad de que la Web sea universal y accesible para todos ha estado presente desde sus inicios, ya que fue un requisito percibido en su diseño por su creador Tim Berners-Lee [5]. Sin embargo, las malas prácticas en el diseño y desarrollo de sitios web han dado lugar a barreras de accesibilidad. El incremento del número de personas con discapacidad en el mundo, la pandemia del SARS-COV-2 y la transformación digital en las organizaciones es un factor determinante para que los sitios web cumplan las WCAG. Las organizaciones han tenido que evolucionar y beneficiarse de la expansión de Internet y de los dispositivos tecnológicos de última generación.

Además, como dato interesante, hemos podido comprobar que son muy pocos los trabajos que han tratado la evaluación de otros recursos (videos, documentos electrónicos, entre otros) que existen en las páginas web; el resto sólo se han centrado en las páginas web. Para que los sitios web cumplan con las leyes o normas de accesibilidad WCAG, sus páginas web y contenidos deben ser accesibles.

Los sitios web no parecen haber sido creados teniendo en cuenta la accesibilidad web. Esto puede deberse a la falta de conocimiento por parte de los desarrolladores de los sitios web. Sin embargo, las organizaciones deberían hacer accesibles sus sitios web para facilitar el acceso universal a sus contenidos. El artículo 9 de la CRPD [4] establece que los gobiernos deben “promover el acceso de las personas con discapacidad a los nuevos sistemas y tecnologías de la información y las comunicaciones, incluido Internet” y “promover el diseño, el desarrollo, la producción y la distribución de sistemas y tecnologías de la información y las comunicaciones accesibles en una etapa temprana”. Para ello, es necesario que los desarrolladores de los sitios web estén formados y apliquen las WCAG en sus páginas web y en los contenidos publicados.

En el SLR sobre la accesibilidad de los sitios web universitarios en todo el mundo [21] se analizaron 42 artículos seleccionados. Los artículos seleccionados provienen de distintos momentos y países, sin embargo, Estados Unidos fue el país en el que más estudios se han realizado. De los 42 artículos seleccionados, 11 ([54], [65], [70]-[72], [74]-[76], [79], [80], [84]) se realizaron en Estados Unidos. Por lo tanto, hemos realizado una línea de tiempo de los resultados de accesibilidad en los sitios web universitarios de Estados Unidos (ver Figura 18.1), analizando los resultados a lo largo del tiempo. Se

puede observar que los problemas de accesibilidad persisten en el tiempo. Esto puede deberse a la introducción de las nuevas versiones de las WCAG, que son cada vez más completas y exigentes. De todos modos, es bastante difícil comparar los resultados de diferentes estudios porque no existe una línea de base y cada estudio aplica métodos y herramientas diferentes [21].

Según Sánchez-Gordón y Moreno, “*accessibility and testing should be integrated from the beginning of the product development cycle, when the application or product is in the planning or design phase*” [la accesibilidad y las pruebas deben integrarse desde el principio del ciclo de desarrollo del producto, cuando la aplicación o el producto se encuentra en la fase de planificación o diseño] [140, pp. 289]. Sin embargo, por la cantidad de errores se puede deducir que la mayoría de los sitios web no fueron desarrollados teniendo en cuenta la accesibilidad web. Por lo tanto, los desarrolladores o programadores deberían realizar esfuerzos importantes en los sitios web para mejorar su accesibilidad y crear sitios web más inclusivos. Los métodos de evaluación empírica utilizados para la accesibilidad web podrían mejorarse adoptando herramientas automáticas para la construcción de sitios web y mecanismos manuales con expertos para las pruebas.

En esta tesis doctoral, con el fin de ayudar a los desarrolladores web a implementar sitios web que cumplan con los requisitos de accesibilidad, se propone un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de los sitios web. Este modelo de proceso propuesto es cíclico y en cada iteración identifica los problemas de accesibilidad en los sitios web, comprende los problemas mediante las técnicas suficientes, de asesoramiento y fallos de los criterios de éxito, luego elabora y ejecuta un plan de soluciones con KPI, después mide el cumplimiento de los KPI del plan de soluciones con herramientas de evaluación automática, usuarios finales, expertos, etc., documenta las lecciones aprendidas y realiza las iteraciones necesarias hasta cumplir con la accesibilidad de los sitios web.

El modelo de proceso propuesto se compone de cuatro fases. La primera fase (**Planificar**) del modelo de proceso es la planificación de la evaluación de la accesibilidad web. Esta fase contiene cuatro pasos que se describen a continuación:

1. El primer paso de la planificación permite definir el problema de accesibilidad que se tiene en los portales web, su importancia, y la versión de las WCAG con las que se quiere evaluar.
2. El segundo paso consiste en determinar el estado actual de los sitios web. Para ello, hay que aplicar cada uno de los pasos de la metodología WCAG-EM 1.0. Esta metodología permite encontrar los problemas de accesibilidad en los sitios web analizados. El informe de accesibilidad, que es el último paso de la metodología WCAG-EM 1.0, debe definir los problemas de accesibilidad encontrados mediante los principios, pautas y criterios de éxito.
3. El tercer paso investiga las causas de los problemas de accesibilidad encontrados en los criterios de éxito de las WCAG. Para ello, hay que identificar las técnicas suficientes, las técnicas de asesoramiento y los fallos de los criterios de éxito que presentan problemas de accesibilidad en los sitios web analizados. A continua-

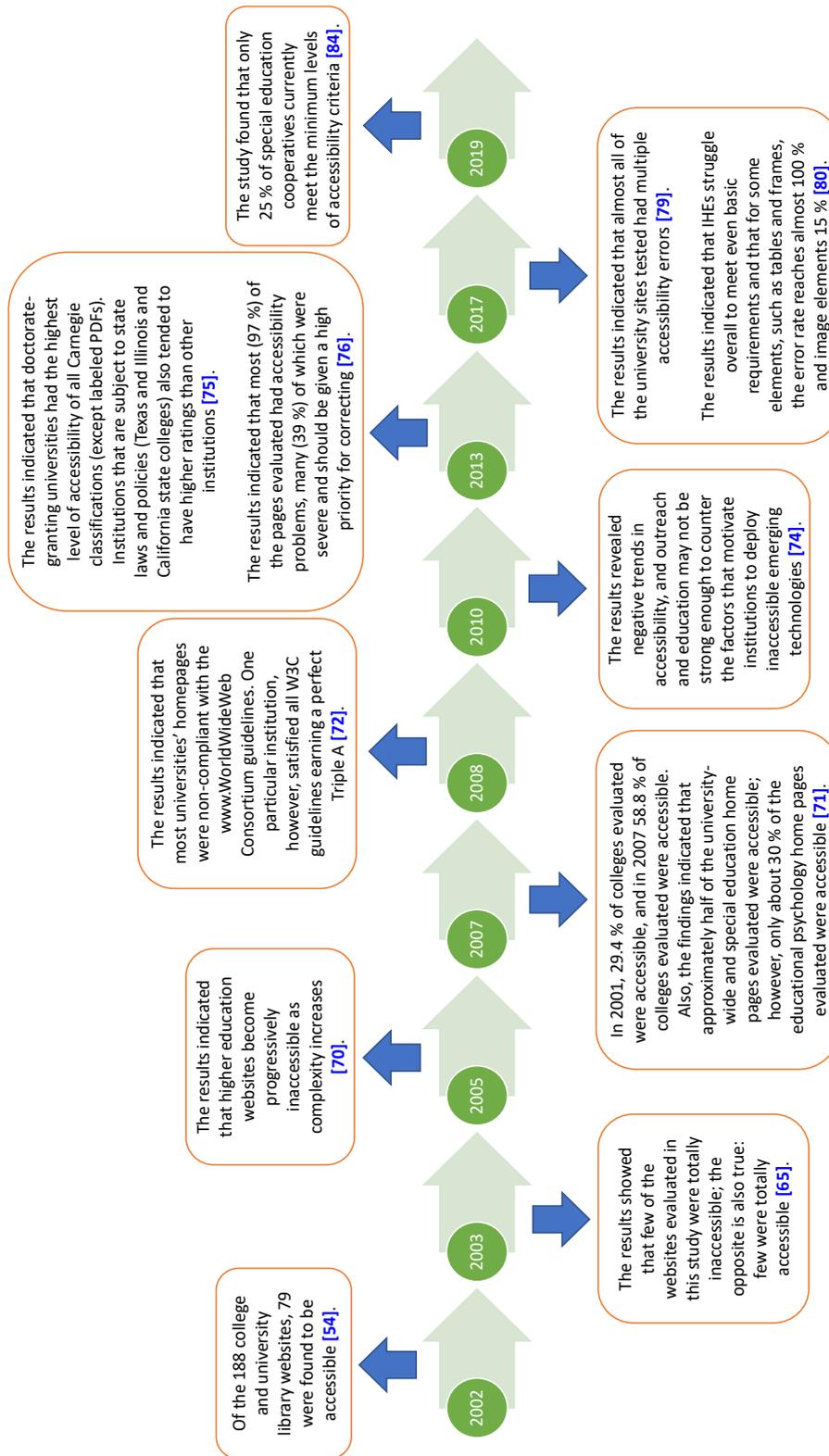


Figura 18.1: Resultados a lo largo del tiempo de la evaluación de los sitios web universitarios en Estados Unidos

ción, hay que clasificar los criterios de éxito por principios, pautas y niveles de conformidad.

4. La cuarta etapa permite elaborar el plan de soluciones a los problemas de accesibilidad encontrados en los sitios web. Para ello, se formulan KPI por criterios de éxito basados en los problemas de accesibilidad encontrados. Además, los criterios de éxito se priorizan en función de los niveles de conformidad A, AA y AAA. Teniendo en cuenta que, los criterios de éxito con un nivel de conformidad A tienen una puntuación de 3 (Alto) que asume el mayor impacto en los sitios web, AA de 2 (Medio) y AAA de 1 (Bajo) en una escala de 1 a 3. Finalmente, en este paso se elabora el plan de acción, que debe contener los KPI, los enlaces para entender los criterios de éxito (técnicas y fallos), los responsables, la fecha de inicio y de finalización, y los recursos humanos, financieros y tecnológicos necesarios para el cumplimiento de cada KPI. Además, la justificación que ha motivado a las organizaciones a cumplir con los estándares de accesibilidad en sus portales web.

La segunda fase (**Hacer**) del modelo de proceso consiste en ejecutar el plan de acción. Esta fase sólo contiene un paso, que se describe a continuación:

1. La ejecución del plan de acción tiene como objetivo cumplir los KPI. Es fundamental conocer los criterios de éxito (técnicas y fallos) y considerar sus ejemplos para corregir los problemas de accesibilidad. Por lo general, un portal web utiliza una plantilla que se reutiliza para el diseño de cada una de sus páginas web. Si este es el caso, cuando se corrige un error en una página web, debería corregirse de la misma manera en las demás. Una buena práctica es probar continuamente las páginas web después de realizar los cambios para verificar si se han solucionado los problemas de accesibilidad. Estas pruebas se pueden realizar con herramientas de evaluación automáticas, expertos, usuarios finales, herramientas de apoyo, entre otros. Estas pruebas ayudan a verificar que los cambios realizados son correctos.

La tercera fase (**Verificar**) del modelo de proceso consiste en la medición de los resultados. Esta fase sólo contiene un paso, que se describe a continuación:

1. La medición de los resultados consiste en determinar los KPI que no se han cumplido. Además, es necesario explicar las razones del incumplimiento, como las humanas, las económicas y las tecnológicas, entre otras.

La cuarta fase (**Actuar**) del modelo de proceso consiste en documentar las soluciones. Esta fase sólo contiene un paso, que se describe a continuación:

1. La documentación de las soluciones permitirá corregir problemas de accesibilidad similares en futuros sitios web. Además, las lecciones aprendidas en las fases anteriores permitirán a los desarrolladores cometer menos errores de accesibilidad en los nuevos diseños de sitios web.

El modelo de proceso propuesto puede adaptarse a las nuevas versiones de las WCAG. La última versión publicada por la W3C es el borrador de las WCAG 3.0 [11]. Por lo tanto, el modelo de proceso propuesto se mapea con las guías de accesibilidad de las WCAG 3.0 para determinar su aplicabilidad. Considerando que los criterios de éxito de las WCAG 2.0 ahora son denominados resultados (*Outcomes*) en las WCAG 3.0, las técnicas son denominados métodos (*Methods*) y la comprensión es denominado cómo (*How-to*). A continuación, se detallan las dos fases y sus incisos del modelo de proceso que se deben adaptar con las nuevas denominaciones de las WCAG 3.0:

Primera fase del modelo de proceso:

1. Definir el proyecto

1.3. Definir los indicadores de control (Pautas-resultados)

2. Analizar la situación actual

2.4 Auditar la muestra seleccionada (Pruebas (atómicas y holísticas))

3. Analizar las causas potenciales

3.1 Investigar las causas de los problemas (Métodos)

3.2 Analizar los datos recogidos (Cómo)

4. Planificar soluciones

4.2 Identificar las prioridades (Puntuación (escalas de calificación) y Conformidad (Bronce, plata y oro))

Tercera fase del modelo de proceso:

6. Medición de resultados

6.1 Recoger y evaluar los resultados (Pruebas (atómicas y holísticas))

La accesibilidad web ha cobrado importancia en los últimos años, pero los sitios web siguen siendo inaccesibles para ciertos sectores de la población. A pesar de que la W3C ha creado las recomendaciones de las WCAG para mejorar la accesibilidad en los sitios web, incluso se han adoptado como leyes o estándares en algunos países. Sin embargo, la escasa o nula experiencia en materia de accesibilidad por parte de los desarrolladores de sitios web y la falta de información precisa sobre las mejores formas de identificar rápida y fácilmente los problemas de accesibilidad mediante diferentes métodos de evaluación de la accesibilidad [141] siguen limitando el acceso de las personas con discapacidad a los sitios web. Por tal razón, el objetivo de este modelo de proceso es que las organizaciones comprueben continuamente la accesibilidad de sus sitios web para hacerlos más accesibles. Las fases y etapas del modelo de proceso propuesto deben aplicarse de forma secuencial, ya que los resultados de una etapa son la base de la siguiente. Además, el uso de este modelo de proceso en los sitios web evitará problemas legales por el incumplimiento de la normativa de accesibilidad web.

19 Conclusiones

19.1. Conclusiones

Las TIC son el conjunto de herramientas y tecnologías que permiten el acceso y uso de la información en la Web. Estas pueden mejorar el nivel de vida de la población y potenciar las capacidades personales y profesionales de las personas. En la actualidad, las TIC ocupan un lugar importante en la sociedad a través de numerosas aplicaciones basadas en internet, comercio electrónico, software o dispositivos móviles y otras plataformas. Estas aplicaciones permiten el desarrollo de la sociedad de la información en beneficio de la humanidad. Por lo tanto, las aplicaciones o sitios web deben ser accesibles a las personas con y sin discapacidades.

Las personas con discapacidad pueden utilizar los sitios web cuando están diseñados y codificados adecuadamente. Sin embargo, siguen desarrollándose sitios web con barreras de accesibilidad que dificultan su uso a las personas con discapacidad. Por lo tanto, esta tesis plantea como objetivo proponer un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad en los sitios web, a través de la caracterización del problema y el estado de la cuestión de la accesibilidad que se presentan en los sitios web, para el cumplimiento de las WCAG en los portales web.

La caracterización del problema se enfocó en determinar si los sitios web y documentos electrónicos cumplen con las recomendaciones de las WCAG. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

- Un total de 1,068 sitios web se analizaron de instituciones educativas del Ecuador utilizando las WCAG 2.0 con un nivel de conformidad A y herramientas de evaluación automática. De los 1,068 sitios web evaluados, 840 presenta la mayor cantidad de errores en el principio robusto y los 228 restantes en el principio perceptible. Si bien la accesibilidad web es importante, su cumplimiento en los sitios web de las instituciones educativas analizadas es limitado.
- Además, se evaluaron 220 sitios web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador utilizando las WCAG 2.0 con un nivel de conformidad AA y herramientas de evaluación automática. Los resultados determinaron que la mayor

cantidad de errores se presentan en el principio perceptible y que todos los sitios web evaluados presentan problemas de accesibilidad.

- También se evaluaron 65 páginas de inicio de los portales de las instituciones de educación superior del Ecuador clasificadas en Webometrics utilizando las WCAG 2.1 con un nivel de conformidad AAA y herramientas de evaluación automática. Los resultados determinaron que la mayor cantidad de errores se presentan en el principio perceptible y que todos los sitios web evaluados presentan problemas de accesibilidad.
- Finalmente, se evaluaron 463 documentos electrónicos publicados en los portales web de una muestra de instituciones educativas de las ciudades de Cuenca, Guayaquil y Quito de Ecuador. El análisis de los documentos PDF se realizó con Adobe Acrobat XI y los documentos de Microsoft Word, Excel y PowerPoint con el comprobador de accesibilidad de Microsoft Office. Los resultados determinaron que los documentos PDF (442), Word (14), Excel (3) y PowerPoint (4) de las instituciones educativas analizadas no son accesibles.

El estado de la cuestión se centró en determinar el alcance de la investigación sobre accesibilidad web existente en relación con los sitios web educativos, proporcionando una visión general de las soluciones y examinando nuevas vías y oportunidades de investigación. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos:

- En la SLR sobre los resultados empíricos de la evaluación de la accesibilidad de los sitios web educativos se analizaron 25 artículos. De los 25 artículos seleccionados, 19 utilizan las WCAG 2.0 para evaluar los sitios web educativos. De los 19 artículos, en 13 artículos se utilizan las WCAG 2.0, en 4 artículos se utilizan las WCAG 2.0 y la Section 508, en 1 artículo se utiliza las WCAG 2.0 y la ISO/IEC 24751 y en 1 artículo se utiliza las WCAG 2.0 y la SI 5568. De los 5 artículos restantes, en 3 artículos se utilizan las WCAG 1.0 y la Section 508, en 1 artículo se utiliza las WCAG 1.0 y en otro artículo se utiliza las WCAG 2.1. Los resultados muestran que los estándares de accesibilidad web no se cumplen en los sitios web educativos analizados en los artículos. Los sitios web analizados en los 25 artículos suponen importantes barreras para las personas con discapacidad. Por tanto, los problemas de accesibilidad de la web vulneran los derechos legales de las personas con discapacidad, que pueden demandar a los propietarios de los sitios web de acuerdo con las leyes y normativas vigentes en cada país.
- En la SLR sobre los resultados de la accesibilidad de los sitios web de las universidades se analizaron 42 artículos. Los 42 artículos analizados evalúan 9,140 universidades distribuidas en 5 continentes y 68 países. En resumen, los resultados obtenidos son los siguientes:
 - 83.33 % de las universidades se seleccionaron mediante un muestreo.
 - 38,416 páginas web, 91,421 YouTube Videos y 28,395 documentos PDF fueron evaluados.

- En el 88.10 % de los artículos sólo se evaluó la página de inicio de los sitios web.
 - Las normas utilizadas fueron la ISO/IEC40500:2012, la Section 508 y la combinación de ambas.
 - Los métodos de evaluación utilizados fueron métodos manuales, métodos con herramientas automáticas y la combinación de ambos.
 - El 90.47 % de los sitios web de las universidades se evaluaron con herramientas automáticas.
 - Los errores más comunes se presentan en las siguientes pautas: texto alternativo, adaptable, distinguible, accesibilidad del teclado, navegable, legible, previsible, asistencia de entrada y compatible.
- En la SLR sobre los resultados empíricos de las arquitecturas de software utilizadas en los sitios web educativos de un total de 23 artículos. Los resultados de la SLR muestran que estos artículos de investigación son experimentos narrados de proyectos o individuos que buscan mejorar el aprendizaje colaborativo en el área educativa. De los 23 artículos, en 13 artículos se realiza una evaluación de su investigación con estudiantes, profesores o profesionales o una combinación de ellos. Considerando lo anterior, es necesario que los sitios web educativos, los laboratorios remotos, las bibliotecas digitales, las aulas virtuales, etc. incluyan en sus arquitecturas de software normas de calidad, leyes y reglamentos para el acceso universal y el aprendizaje colaborativo inclusivo.

Finalmente, se desarrolló el modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de los sitios web y su validación a través de un caso de estudio. Este modelo de proceso es la adaptación del ciclo Deming, la metodología WCAG-EM y la TQM. El ciclo Deming permite organizar las actividades en cada una de sus fases. La metodología WCAG-EM determina la situación actual de los sitios web y sus problemas, y la TQM contempla todas las actividades que deben realizarse hasta llegar a las conclusiones. Además, este modelo es flexible a las nuevas versiones de las WCAG. El modelo de proceso fue validado a través de un caso de estudio que se llevó a cabo en el portal web HCI, mediante el empleo de las herramientas de evaluación automática Axe y HTMLCS. Los resultados corroboraron la viabilidad del modelo de proceso, ya que mejoró la accesibilidad del portal web HCI en un 75 %.

La implantación de este modelo de proceso en las organizaciones permitirá el cumplimiento de las normas de accesibilidad. Además, este modelo de proceso permite un ciclo infinito de iteraciones, siendo cada iteración la entrada para la siguiente iteración y manteniendo así los sitios web accesibles mediante pruebas de accesibilidad continuas.

19.2. Contribuciones

Las contribuciones presentadas en los resultados de los artículos publicados a lo largo del proceso de investigación, demuestran que aún queda mucho trabajo por hacer y mejorar en la accesibilidad de los sitios web. Además, se determina que es un proceso

continuo de evaluación y cumplimiento debido a la evolución de las nuevas versiones de las WCAG y cambios tecnológicos.

El principal aporte de esta tesis doctoral es el desarrollo de un modelo de proceso para la evaluación continua de la accesibilidad de los sitios web. Este modelo de proceso permite que las organizaciones mantengan un proceso iterativo de evaluación de la accesibilidad de sus sitios web. Además, permite evaluar la accesibilidad de los sitios web con herramientas de evaluación automática, usuarios finales, expertos, etc. Del mismo modo, permite evaluar, supervisar y proporcionar información sobre el cumplimiento de las normas de accesibilidad, políticas y estándares en los sitios web. También, permite llevar un registro de las lecciones aprendidas para evitar cometer los mismos errores en próximos desarrollos de sitios web. La viabilidad y aplicabilidad del modelo de proceso se comprobó mediante un estudio de caso, con resultados satisfactorios.

Esta investigación también contribuye con dos SLR sobre la accesibilidad de los sitios web educativos. Estas revisiones permitieron determinar los métodos de evaluación utilizados, las normas de accesibilidad, las herramientas de evaluación automática y las evaluaciones de los sitios web. Como resultado, la mayoría de los sitios web educativos analizados no son accesibles. En los estudios seleccionados en estas revisiones se evidencia que se utilizan las WCAG para la evaluación de los sitios web, métodos de evaluación automática y herramientas automáticas en línea.

Otra contribución es una SLR sobre la arquitectura de software de sitios web educativos. Esta revisión permitió determinar que en los estudios seleccionados se presentan experimentos narrados de proyectos o personas que buscan mejorar el aprendizaje colaborativo en el ámbito educativo. Un hallazgo importante es que las arquitecturas de software propuestas no contemplan leyes o normas de accesibilidad para el acceso universal.

Otra contribución son los conjuntos de datos compartidos en IEEE DataPort del análisis de accesibilidad de los sitios web¹ y los resultados de la aplicabilidad del caso de estudio del modelo de proceso². Estos conjuntos de datos pueden ser utilizados por otros investigadores para sus investigaciones. Estos son datos abiertos que pueden ser utilizados y reutilizados libremente por cualquier persona.

19.3. Trabajos futuros

De acuerdo a los resultados de investigación obtenidos en los cuatro años del programa doctoral, a continuación, se presentan los trabajos futuros:

- Uno de los trabajos futuros propuestos es seguir analizando la evolución de los sitios web en cuanto al cumplimiento de las WCAG. Además, desarrollar una plantilla para sitios web educativos que cumplan con las normas, reglamentos y leyes de accesibilidad web e inclusión educativa [19].
- Otro trabajo futuro es analizar la evolución de la arquitectura del software de los sitios web educativos. También, determinar cuáles son sus buenas prácticas

¹<https://doi.org/10.21227/d068-8t07>

²<https://doi.org/10.21227/f6b0-g496>

o estrategias existentes para la creación y gestión de recursos de aprendizaje, recursos educativos abiertos, cursos masivos abiertos en línea (*Massive Open Online Course*, MOOC) accesibles, características de adaptabilidad y accesibilidad utilizadas en las plataformas o campus virtuales de educación [20].

- Otro trabajo futuro es realizar una revisión sistemática sobre la accesibilidad de los contenidos publicados en los sitios web universitarios. También, hacer una comparación de la accesibilidad de los sitios web de universidades públicas y privadas y la aceptación de los sistemas de gestión de aprendizaje (*Learning Management System*, LMS) por parte de las personas con discapacidad [21].
- Otro trabajo futuro es adaptar el modelo de proceso a diferentes grupos de trabajo según sus componentes y grupos de personas. Además, se prevé adoptar el modelo de proceso propuesto para desarrollar aplicaciones móviles accesibles. También, se proyecta crear un modelo de proceso para el cumplimiento de la accesibilidad web en documentos electrónicos antes de su publicación en la Web [22].

Bibliografía

- [1] Organización Mundial de la Salud, *Informe Mundial sobre la Discapacidad*, Disponible en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/75356>, Organización Mundial de la Salud y Banco Mundial, 2011 (citado en la página 3).
- [2] V. Pagnoni y S. Mariño, «Una guía de Accesibilidad Web para portales educativos. La revisión de usuarios,» en *XXVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2021)*, Argentina, Salta: Universidad Nacional de Salta, oct. de 2021, págs. 133-141 (citado en la página 3).
- [3] Banco Mundial, *Discapacidad*, Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/disability#1>, mar. de 2021 (citado en la página 3).
- [4] Naciones Unidas, *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad*, Disponible en <https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf>, 2006 (citado en las páginas 3, 5, 113).
- [5] S. L. Henry y L. McGee, *Accessibility*, Disponible en <https://www.w3.org/standards/webdesign/accessibility>, jun. de 2019 (citado en las páginas 4, 113).
- [6] World Wide Web Consortium, *World Wide Web Consortium Launches International Program Office for Web Accessibility Initiative*, Disponible en <https://www.w3.org/Press/IP0-announce>, 1997 (citado en la página 4).
- [7] W. Chisholm, G. Vanderheiden e I. Jacobs, *Web Content Accessibility Guidelines 1.0*, Disponible en <https://www.w3.org/TR/WAI-WEBCONTENT/>, mayo de 1999 (citado en la página 4).
- [8] B. Caldwell, M. Cooper, L. G. Reid y G. Vanderheiden, *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0*, Disponible en <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>, dic. de 2008 (citado en la página 4).
- [9] A. Kirkpatrick, J. O'connor, A. Campbell y M. Cooper, *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*, Disponible en <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>, jul. de 2018 (citado en la página 4).

Bibliografía

- [10] A. Kirkpatrick, A. Campbell y M. Cooper, *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2*, Disponible en <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>, feb. de 2020 (citado en la página 4).
- [11] J. Spellman, R. Montgomery, S. Lauriat y M. Cooper, *Web Content Accessibility Guidelines 3.0*, Disponible en <https://www.w3.org/TR/wcag-3.0/>, ene. de 2021 (citado en las páginas 4, 117).
- [12] M. J. Mueller, R. Jolly y E. Eggert, *Web Accessibility Laws & Policies*, Disponible en <https://www.w3.org/WAI/policies/>, mar. de 2018 (citado en la página 4).
- [13] J. Shubham, *How COVID-19 Becomes The Source Of Propulsion Towards Digital Transformation*, Disponible en <https://n9.cl/etfso>, IEEE Computer Society, oct. de 2021 (citado en la página 4).
- [14] B. Kitchenham, «Procedures for Performing Systematic Reviews,» *Keele, UK, Keele Univ.*, vol. 33, págs. 1-33, jul. de 2004 (citado en las páginas 5, 37, 38, 42, 50, 57, 68, 70).
- [15] B. Kitchenham, O. P. Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey y S. Linkman, «Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review,» *Information and Software Technology*, vol. 51, n.º 1, págs. 7-15, ene. de 2009 (citado en las páginas 5, 70).
- [16] B. Kitchenham, D. Budgen y O. P. Brereton, «Using mapping studies as the basis for further research – A participant-observer case study,» *Information and Software Technology*, vol. 53, n.º 6, págs. 638-651, jun. de 2011 (citado en la página 5).
- [17] M. Campoverde-Molina y L. Valverde, «Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador,» *Cátedra*, vol. 2, n.º 2, págs. 55-75, mayo de 2019. DOI: 10.29166/catedra.v2i2.1646 (citado en las páginas 9, 10, 28, 91).
- [18] M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012,» *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, n.º E22, págs. 53-68, ago. de 2019 (citado en las páginas 9, 10, 30, 97).
- [19] M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García, «Empirical Studies on Web Accessibility of Educational Websites: A Systematic Literature Review,» *IEEE Access*, vol. 8, págs. 91 676-91 700, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2994288 (citado en las páginas 9, 10, 37, 50, 70, 101, 122).
- [20] M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Systematic literature review on software architecture of educational websites,» *IET Software*, vol. 15, n.º 4, págs. 239-259, 2021. DOI: 10.1049/sfw2.12024 (citado en las páginas 9, 10, 67, 103, 123).

- [21] —, «Accessibility of university websites worldwide: a systematic literature review,» *Universal Access in the Information Society*, 2021. DOI: 10.1007/s10209-021-00825-z (citado en las páginas 9, 10, 50, 105, 113, 114, 123).
- [22] —, «Process Model for Continuous Testing of Web Accessibility,» *IEEE Access*, vol. 9, págs. 139 576-139 593, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3116100 (citado en las páginas 9, 10, 107, 123).
- [23] M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Retrospective Analysis of Accessibility of the Educational Web Portals: The Ecuadorian Case,» en *13th International Technology, Education and Development Conference (INTED2019 Proceedings)*, Valencia, Spain: IATED, mar. de 2019, págs. 3774-3783. DOI: 10.21125/inted.2019.0961 (citado en las páginas 9, 11, 27, 89).
- [24] M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde García, «Accessibility Analysis of Electronic Documents Published in Educational Web Portals: The Ecuadorian Case,» en *11th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN19 Proceedings)*, Palma, Spain: IATED, jul. de 2019, págs. 4686-4696. DOI: 10.21125/edulearn.2019.1170 (citado en las páginas 10, 11, 33, 95).
- [25] —, «Web Accessibility in the Web Portals of the Educational Institutions of Ecuador. Preliminary Analysis,» en *11th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN19 Proceedings)*, Palma, Spain: IATED, jul. de 2019, págs. 4697-4707. DOI: 10.21125/edulearn.2019.1171 (citado en las páginas 10, 11, 29, 93).
- [26] M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Evaluation of the Accessibility of the Homepages of the Web Portals of Ecuadorian Higher Education Institutions Ranked in Webometrics,» en *2021 IEEE Fifth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, Cuenca, Ecuador: IEEE, oct. de 2021, págs. 259-264. DOI: 10.1109/ETCM53643.2021.9590684 (citado en las páginas 10, 12, 31, 109).
- [27] M. Campoverde-Molina, S. Luján-Mora y L. Valverde, «Análisis de accesibilidad web en las instituciones educativas públicas y fiscomisionales de la ciudad de Cuenca, Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012,» en *Transformación digital en las organizaciones*, L. P. Ayabaca y J. K. V. Durán, eds., Centro de Investigación y Desarrollo Profesional (CIDEPRO): Babahoyo, Ecuador, 2019, cap. 1, págs. 11-21. DOI: 10.29018/978-9942-823-15-1 (citado en las páginas 10, 12, 30, 99).
- [28] International Organization for Standardization, *Information technology — W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0*, Disponible en <https://www.iso.org/standard/58625.html>, ISO/IEC 40500:2012, oct. de 2012 (citado en la página 25).
- [29] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Tecnología de la información - Directrices de accesibilidad para el contenido web del W3C (WCAG) 2.0*. Disponible en <https://acortar.link/k9Y14>, ene. de 2014 (citado en la página 25).

Bibliografía

- [30] Servicio Ecuatoriano de Normalización, *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 “Accesibilidad para el contenido web”*, Disponible en <https://acortar.link/1hGG1>, ene. de 2016 (citado en la página 25).
- [31] E. Velleman y S. Abou-Zahra, *Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM) 1.0*, Disponible en <https://n9.c1/zv3v7>, jul. de 2014 (citado en las páginas 27, 81).
- [32] D. D. de Carvalho, L. F. Chagas, A. M. Lima y C. A. L. Reis, «Software Process Lines: A Systematic Literature Review,» en *14th Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE)*, Cham, nov. de 2014, págs. 118-130. DOI: 10.1007/978-3-319-13036-1_11 (citado en las páginas 38, 50, 68).
- [33] A. Amin, S. Basri, M. F. Hassan y M. Rehman, «A Snapshot of 26 Years of Research on Creativity in Software Engineering - A Systematic Literature Review,» en *Mobile and Wireless Technologies (ICMWT)*, Singapore, jun. de 2017, págs. 430-438. DOI: 10.1007/978-981-10-5281-1_47 (citado en las páginas 38, 50, 68).
- [34] D. Martínez-Mosquera, R. Navarrete y S. Luján-Mora, «Modeling and Management Big Data in Databases—A Systematic Literature Review,» *Sustainability*, vol. 12, n.º 2, págs. 1-41, ene. de 2020. DOI: 10.3390/su12020634 (citado en las páginas 38, 50, 68, 70).
- [35] S. Hernández Otálora, O. Quejada Durán y G. Díaz, «Methodological guide for development of accessible educational virtual environments: A systematic approach [Guía metodológica para el desarrollo de ambientes educativos virtuales accesibles: Una visión desde un enfoque sistémico],» *Digital Education Review*, n.º 29, págs. 166-180, jun. de 2016. DOI: 10.1344/der.2016.29.166-180 (citado en la página 38).
- [36] K. Lee, «Rethinking the accessibility of online higher education: A historical review,» *Internet and Higher Education*, vol. 33, págs. 15-23, abr. de 2017. DOI: 10.1016/j.iheduc.2017.01.001 (citado en la página 38).
- [37] M. Akram y R. Bt Sulaiman, «A Systematic Literature Review to Determine the Web Accessibility Issues in Saudi Arabian University and Government Websites for Disable People,» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 8, n.º 6, págs. 321-329, jul. de 2017. DOI: 10.14569/IJACSA.2017.080642 (citado en las páginas 38, 50).
- [38] C. M. Baker, Y. N. El-Glaly y K. Shinohara, «A Systematic Analysis of Accessibility in Computing Education Research,» en *Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, New York, NY, USA, feb. de 2020, págs. 107-113. DOI: 10.1145/3328778.3366843 (citado en la página 38).
- [39] B. Cruz Zapata, J. L. Fernández-Alemán, A. Idri y A. Toval, «Empirical Studies on Usability of mHealth Apps: A Systematic Literature Review,» *Journal of Medical Systems*, vol. 39, n.º 2, pág. 1, ene. de 2015. DOI: 10.1007/s10916-014-0182-2 (citado en las páginas 39, 72).

- [40] M. Gusenbauer y N. R. Haddaway, «Which Academic Search Systems are Suitable for Systematic Reviews or Meta-Analyses? Evaluating Retrieval Qualities of Google Scholar, PubMed and 26 other Resources,» *Research Synthesis Methods*, oct. de 2019. DOI: 10.1002/jrsm.1378 (citado en las páginas 42, 57, 71).
- [41] J. Yogendra Kumar y B. Santosh Kumar, «Min Max Normalization Based Data Perturbation Method for Privacy Protection,» *International Journal of Computer and Communication Technology (IJCCT)*, vol. 4, n.º 4, págs. 233-238, oct. de 2013. DOI: 10.47893/IJCCT.2013.1201 (citado en la página 44).
- [42] S. May y Q. Zhu, «A web accessibility assessment on the Texas public school system,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 9, n.º 1, págs. 87-96, mar. de 2010. DOI: 10.1007/s10209-009-0153-4 (citado en la página 46).
- [43] R. Gonçalves, J. Martins, J. Pereira y M. Cota, «Can I Access my School Website? Auditing Accessibility of the Portuguese Teaching Institutions Websites,» *Journal of Universal Computer Science*, vol. 19, págs. 2639-2655, ene. de 2013. DOI: 10.3217/jucs-019-18-2639 (citado en la página 46).
- [44] D. Comeaux y A. Schmetzke, «Accessibility of academic library web sites in North America: Current status and trends (2002-2012),» *Library Hi Tech*, vol. 31, n.º 1, págs. 8-33, mar. de 2013. DOI: 10.1108/07378831311303903 (citado en la página 46).
- [45] R. Roig-Vila, S. Ferrández e I. Ferri-Miralles, «Assessment of web content accessibility levels in Spanish official online education environments,» *International Education Studies*, vol. 7, n.º 6, págs. 31-45, mayo de 2014. DOI: 10.5539/ies.v7n6p31 (citado en las páginas 46, 61).
- [46] B. Gohin y V. Vinod, «AAEM: Accessibility assistance evaluation metric,» *International Review on Computers and Software*, vol. 9, n.º 5, págs. 872-882, mayo de 2014 (citado en la página 46).
- [47] D. Fogli, L. Parasiliti Provenza y C. Bernareggi, «A universal design resource for rich Internet applications based on design patterns,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 13, n.º 2, págs. 205-226, jun. de 2014. DOI: 10.1007/s10209-013-0291-6 (citado en la página 46).
- [48] R. Ringlaben, M. Bray y A. Packard, «Accessibility of American University Special Education Departments' Web sites,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 13, n.º 2, págs. 249-254, jun. de 2014. DOI: 10.1007/s10209-013-0302-7 (citado en la página 46).
- [49] L. Billingham, «Improving academic library website accessibility for people with disabilities,» *Library Management*, vol. 35, págs. 565-581, nov. de 2014. DOI: 10.1108/LM-11-2013-0107 (citado en la página 46).
- [50] B. A. Shawar, «Evaluating web accessibility of educational websites,» *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 10, n.º 4, págs. 4-10, ago. de 2015. DOI: 10.3991/ijet.v10i4.4518 (citado en las páginas 46, 61).

- [51] M. Debevc, I. Kožuh, S. Hauptman, A. Klembas, J. B. Lapuh y A. Holzinger, «Using WCAG 2.0 and heuristic evaluation to evaluate accessibility in educational web based pages,» *Communications in Computer and Information Science*, vol. 533, págs. 197-207, ago. de 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-22629-3_16 (citado en la página 47).
- [52] B. Lush, «Managing accessible library web content,» *Advances in Librarianship*, vol. 40, págs. 169-189, dic. de 2015. DOI: 10.1108/S0065-283020150000040017 (citado en la página 47).
- [53] A. Ahmi y R. Mohamad, «Evaluating accessibility of Malaysian Public Universities websites using AChecker and Wave,» *Journal of Information and Communication Technology-Malaysia*, vol. 15, n.º 2, págs. 193-214, dic. de 2016. DOI: 10.32890/jict2016.15.2.10 (citado en las páginas 47, 62).
- [54] M. O. Pendergast, «Evaluating the Accessibility of Online University Education,» *International Journal of Online Pedagogy and Course Design*, vol. 7, n.º 1, págs. 1-14, ene. de 2017. DOI: 10.4018/IJOPCD.2017010101 (citado en las páginas 47, 62, 113).
- [55] M. Hassouna, N. Sahari y A. Ismail, «University website accessibility for totally blind users,» *Journal of Information and Communication Technology*, vol. 16, n.º 1, págs. 63-80, jun. de 2017. DOI: 10.32890/jict2017.16.1.4 (citado en las páginas 47, 62).
- [56] S. Ali, T. AlBalushi y A. AlBadi, «Guidelines and deployment of accessibility-aware framework approach,» *International Journal of Web Information Systems*, vol. 13, n.º 2, págs. 114-139, jun. de 2017. DOI: 10.1108/IJWIS-08-2016-0043 (citado en la página 47).
- [57] E. İ. İşeri, K. Uyar y Ü. İlhan, «The accessibility of Cyprus Islands' Higher Education Institution Websites,» *Procedia Computer Science*, vol. 120, págs. 967-974, ago. de 2017, 9th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perception (ICSCCW), Budapest, Hungary. DOI: 10.1016/j.procs.2017.11.333 (citado en las páginas 47, 62).
- [58] R. Ismailova y G. Kimsanova, «Universities of the Kyrgyz Republic on the Web: accessibility and usability,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 16, n.º 4, págs. 1017-1025, nov. de 2017. DOI: 10.1007/s10209-016-0481-0 (citado en las páginas 47, 62).
- [59] P. Acosta-Vargas, T. Acosta y S. Luján-Mora, «Challenges to Assess Accessibility in Higher Education Websites: A Comparative Study of Latin America Universities,» *IEEE Access*, vol. 6, págs. 36500-36508, jun. de 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2848978 (citado en las páginas 48, 63).
- [60] H. Laufer Nir y A. Rimmerman, «Evaluation of Web content accessibility in an Israeli institution of higher education,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 17, n.º 3, págs. 663-673, ago. de 2018. DOI: 10.1007/s10209-018-0615-7 (citado en las páginas 48, 63).

- [61] M. E. Begnum Nes y R. J. Foss-Pedersen, «Digital assessment in higher education,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 17, n.º 4, págs. 791-810, nov. de 2018. DOI: 10.1007/s10209-016-0513-9 (citado en la página 48).
- [62] A. Ismail, K. Kuppusamy y S. Paiva, «Accessibility analysis of higher education institution websites of Portugal,» *Universal Access in the Information Society*, abr. de 2019. DOI: 10.1007/s10209-019-00653-2 (citado en las páginas 48, 63).
- [63] A. Ismail y K. Kuppusamy, «Web accessibility investigation and identification of major issues of higher education websites with statistical measures: A case study of college websites,» *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, abr. de 2019. DOI: 10.1016/j.jksuci.2019.03.011 (citado en las páginas 48, 63).
- [64] W. Taylor e I. Bicak, «Two-Year Institution and Community College Web Accessibility: Updating the Literature after the 2018 Section 508 Amendment,» *Community College Journal of Research and Practice*, vol. 43, n.º 10-11, págs. 785-795, abr. de 2019. DOI: 10.1080/10668926.2019.1600604 (citado en la página 48).
- [65] S. Baule, «Evaluating the Accessibility of Special Education Cooperative Websites for Individuals with Disabilities,» *TechTrends*, vol. 64, págs. 50-56, ene. de 2020. DOI: 10.1007/s11528-019-00421-2 (citado en las páginas 48, 63, 113).
- [66] P. Acosta-Vargas, L. Antonio Salvador-Ullauri y S. Luján-Mora, «A Heuristic Method to Evaluate Web Accessibility for Users With Low Vision,» *IEEE Access*, vol. 7, págs. 125 634-125 648, sep. de 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2939068 (citado en las páginas 48, 64).
- [67] E. Eggert y S. Abou-Zahra, *Web Accessibility Evaluation Tools List*, Disponible en <https://www.w3.org/WAI/ER/tools/>, World Wide Web Consortium, mar. de 2016 (citado en la página 49).
- [68] Centre for Reviews and Dissemination (CRD), *Systematic Reviews: CRD's guidance for undertaking reviews in health care*. York Publishing Services Ltd, 2009 (citado en las páginas 58, 74).
- [69] D. Sloan, P. Gregor, P. Booth y L. Gibson, «Auditing accessibility of UK higher education web sites,» *Interacting with Computers*, vol. 14, n.º 4, págs. 313-325, jul. de 2002. DOI: 10.1016/S0953-5438(01)00056-X (citado en la página 60).
- [70] T. Spindler, «The accessibility of Web pages for mid-sized college and university libraries,» *Reference and User Services Quarterly*, vol. 42, n.º 2, págs. 149-154, dic. de 2002 (citado en las páginas 60, 113).
- [71] T. Thompson, S. Burgstahler y D. Comden, «Research on web accessibility in higher education,» *Information Technology and Disabilities*, vol. 9, n.º 2, págs. 1-16, dic. de 2003 (citado en las páginas 60, 113).
- [72] S. Hackett y B. Parmanto, «A longitudinal evaluation of accessibility: higher education web sites,» *Internet Research*, vol. 15, n.º 3, págs. 281-294, jul. de 2005. DOI: 10.1108/10662240510602690 (citado en las páginas 60, 113).

Bibliografía

- [73] D. Comeaux y A. Schmetzke, «Web accessibility trends in university libraries and library schools,» *Library Hi Tech*, vol. 25, n.º 4, págs. 457-477, jul. de 2007. DOI: 10.1108/07378830710840437 (citado en la página 60).
- [74] S. K. Krach, «Snapshot-Ten Years After the Law: A Survey of the Current Status of University Web Accessibility,» *Journal of Special Education Technology*, vol. 22, n.º 4, págs. 30-40, dic. de 2007. DOI: 10.1177/016264340702200403 (citado en las páginas 60, 113).
- [75] K. A. Harper y J. DeWaters, «A Quest for website accessibility in higher education institutions,» *Internet and Higher Education*, vol. 11, n.º 3-4, págs. 160-164, jun. de 2008. DOI: 10.1016/j.iheduc.2008.06.007 (citado en las páginas 60, 113).
- [76] T. Thompson, S. Burgstahler y E. J. Moore, «Web accessibility: A longitudinal study of college and university home pages in the northwestern United States,» *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 5, n.º 2, págs. 108-114, feb. de 2010. DOI: 10.3109/17483100903387424 (citado en las páginas 60, 113).
- [77] C. Espadinha, L. Moniz Pereira, F. Moreira da Silva y J. Lopes, «Accessibility of Portuguese Public Universities' sites,» *Disability and Rehabilitation*, vol. 33, n.º 6, págs. 475-485, jul. de 2010. DOI: 10.3109/09638288.2010.498554 (citado en la página 60).
- [78] S. Kurt, «The accessibility of university web sites: the case of Turkish universities,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 10, n.º 1, págs. 101-110, mar. de 2011. DOI: 10.1007/s10209-010-0190-z (citado en la página 60).
- [79] T. Thompson, D. Comden, S. Ferguson, S. Burgstahler y E. Moore, «Seeking predictors of web accessibility in U.S. higher education institutions,» *Information Technology and Disabilities*, vol. 13, n.º 1, págs. 1-18, abr. de 2013 (citado en las páginas 60, 113).
- [80] R. Ringlaben, M. Bray y A. Packard, «Accessibility of American University Special Education Departments' Web sites,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 13, págs. 249-254, jun. de 2013. DOI: 10.1007/s10209-013-0302-7 (citado en las páginas 61, 113).
- [81] S. Kurt, «Accessibility of Turkish university Web sites,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 16, n.º 2, págs. 505-515, abr. de 2016. DOI: 10.1007/s10209-016-0468-x (citado en la página 61).
- [82] A. Ismail y K. Kuppusamy, «Accessibility of Indian universities' homepages: An exploratory study,» *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 30, n.º 2, págs. 268-278, jun. de 2016. DOI: 10.1016/j.jksuci.2016.06.006 (citado en la página 61).
- [83] I. W. Kamal, H. A. Wahsheh, I. M. Alsmadi y M. N. Al-Kabi, «Evaluating Web Accessibility Metrics for Jordanian Universities,» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 7, n.º 7, jul. de 2016. DOI: 10.14569/IJACSA.2016.070716 (citado en la página 61).

- [84] R. Kimmons, «Open to all? Nationwide evaluation of high-priority web accessibility considerations among higher education websites,» *Journal of Computing in Higher Education*, vol. 29, n.º 3, págs. 434-450, dic. de 2017. DOI: 10.1007/s12528-017-9151-3 (citado en las páginas 62, 113).
- [85] M. Al-Kabi, «Exploring the relationships between web accessibility, web traffic, and university rankings: a case study of Jordanian universities,» *International Journal of High Performance Computing and Networking*, vol. 12, n.º 3, págs. 235-250, ene. de 2018. DOI: 10.1504/IJHPCN.2018.094955 (citado en la página 62).
- [86] W. Arasid, A. Gafar Abdullah, D. Wahyudin, C. Abdullah, I. Widiaty, N. Amelia y A. Juhana, «An Analysis of Website Accessibility in Higher Education in Indonesia Based on WCAG 2.0 Guidelines,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 306, n.º 1, págs. 1-8, feb. de 2018. DOI: 10.1088/1757-899X/306/1/012130 (citado en la página 63).
- [87] R. Ismailova e Y. Inal, «Accessibility evaluation of top university websites: a comparative study of Kyrgyzstan, Azerbaijan, Kazakhstan and Turkey,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 17, págs. 437-445, jun. de 2018. DOI: 10.1007/s10209-017-0541-0 (citado en la página 63).
- [88] S. Verkijika y L. De Wet, «Accessibility of South African university websites,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 19, págs. 201-210, mar. de 2020. DOI: 10.1007/s10209-018-0632-6 (citado en la página 63).
- [89] S. Rahmatizadeh y S. Valizadeh-Haghi, «Monitoring for accessibility in medical university websites: meeting the needs of people with disabilities,» *Journal of Accessibility and Design for All*, vol. 8, n.º 2, págs. 102-124, nov. de 2018. DOI: 10.17411/jaccess.v8i2.150 (citado en la página 63).
- [90] I. N. Sodhar, H. Bhanbhro y Z. H. Amur, «Evaluation of Web Accessibility of Engineering University Websites of Pakistan through Online Tools,» *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 19, n.º 12, págs. 85-90, dic. de 2019 (citado en la página 64).
- [91] C. Máñez-Carvajal, J. F. Cervera-Mérida y R. Fernández-Piqueras, «Web accessibility evaluation of top-ranking university Web sites in Spain, Chile and Mexico,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 20, págs. 179-184, mar. de 2021. DOI: 10.1007/s10209-019-00702-w (citado en la página 64).
- [92] A. Alsaeedi, «Comparing web accessibility evaluation tools and evaluating the accessibility of webpages: Proposed frameworks,» *Information (Switzerland)*, vol. 11, n.º 1, págs. 1-21, ene. de 2020. DOI: 10.3390/info11010040 (citado en la página 64).
- [93] P. Acosta-Vargas, M. González y S. Luján-Mora, «Dataset for evaluating the accessibility of the websites of selected Latin American universities,» *Data in Brief*, vol. 28, pág. 105013, feb. de 2020. DOI: 10.1016/j.dib.2019.105013 (citado en la página 64).

- [94] B. Barricelli, E. Casiraghi, A. Dattolo y A. Rizzi, «15 Years of Stanca Act: Are Italian Public universities websites accessible?» *Universal Access in the Information Society*, vol. 20, págs. 185-200, mar. de 2021. DOI: 10.1007/s10209-020-00711-0 (citado en la página 64).
- [95] Y. Akgül, «Accessibility, usability, quality performance, and readability evaluation of university websites of Turkey: a comparative study of state and private universities,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 20, págs. 157-170, mar. de 2021. DOI: 10.1007/s10209-020-00715-w (citado en la página 64).
- [96] Z. AlMeraj, F. Boujarwah, D. Alhuwail y R. Qadri, «Evaluating the accessibility of higher education institution websites in the State of Kuwait: empirical evidence,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 20, págs. 121-138, mar. de 2021. DOI: 10.1007/s10209-020-00717-8 (citado en la página 64).
- [97] T. Acosta, P. Acosta-Vargas, J. Zambrano-Miranda y S. Luján-Mora, «Web Accessibility Evaluation of Videos Published on YouTube by Worldwide Top-Ranking Universities,» *IEEE Access*, vol. 8, págs. 110994-111011, jun. de 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3002175 (citado en la página 64).
- [98] Universal Access in the Information Society, *Home*, Disponible en <https://www.springer.com/journal/10209>, Springer, sep. de 2020 (citado en la página 65).
- [99] B. Kitchenham, R. Pretorius, D. Budgen, O. Pearl Brereton, M. Turner, M. Niazi y S. Linkman, «Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study,» *Information and Software Technology*, vol. 52, n.º 8, págs. 792-805, ago. de 2010. DOI: 10.1016/j.infsof.2010.03.006 (citado en la página 68).
- [100] F. Shafique, «Architecture of a nation-wide educational information system infrastructure: A systematic review,» mayo de 2013, págs. 15-21. DOI: 10.1109/ECONF.2013.49 (citado en la página 68).
- [101] Z. Stapić, L. de-Marcos, V. Strahonja, A. García-Cabot y E. García López, «Scrutinizing Systematic Literature Review Process in Software Engineering,» *TEM Journal*, vol. 5, págs. 104-116, feb. de 2016. DOI: 10.18421/TEM51-16 (citado en la página 70).
- [102] C. Héctor, A. Vasilios y A. Paris, «Architecting systems of systems: A tertiary study,» *Information and Software Technology*, vol. 118, pág. 106202, oct. de 2020. DOI: 10.1016/j.infsof.2019.106202 (citado en la página 70).
- [103] B. Bermejo y C. Juiz, «Virtual machine consolidation: a systematic review of its overhead influencing factors,» *The Journal of Supercomputing*, vol. 76, n.º 1, págs. 324-361, ene. de 2020. DOI: 10.1007/s11227-019-03025-y (citado en la página 70).
- [104] Y. Suo, N. Miyata, H. Morikawa, T. Ishida e Y. Shi, «Open Smart Classroom: Extensible and Scalable Learning System in Smart Space Using Web Service Technology,» *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 21, n.º 6, págs. 814-828, jun. de 2009. DOI: 10.1109/TKDE.2008.117 (citado en la página 75).

- [105] S. Caballé y F. Xhafa, «CLPL: Providing software infrastructure for the systematic and effective construction of complex collaborative learning systems,» *Journal of Systems and Software*, vol. 83, n.º 11, págs. 2083-2097, nov. de 2010. DOI: 10.1016/j.jss.2010.06.013 (citado en la página 75).
- [106] C. A. Jara, F. A. Candelas, P. Gil, F. Torres, F. Esquembre y S. Dormido, «EJS+EjsRL: An interactive tool for industrial robots simulation, Computer Vision and remote operation,» *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 59, n.º 6, págs. 389-401, jun. de 2011. DOI: 10.1016/j.robot.2011.02.002 (citado en la página 75).
- [107] I. Mustakerov y D. Borissova, «A conceptual approach for development of educational Web-based e-testing system,» *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 11, págs. 14 060-14 064, oct. de 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.04.214 (citado en la página 75).
- [108] D. Gašević, A. Zouaq, C. Torniai, J. Jovanović y M. Hatala, «An Approach to Folksonomy-Based Ontology Maintenance for Learning Environments,» *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 4, n.º 4, págs. 301-314, oct. de 2011. DOI: 10.1109/TLT.2011.21 (citado en la página 75).
- [109] S. M. Dy, J. Roy, G. E. Ott, M. McHale, C. Kennedy, J. S. Kutner y A. Tien, «Tell Us™: a Web-based tool for improving communication among patients, families, and providers in hospice and palliative care through systematic data specification, collection, and use,» *Journal of Pain and Symptom Management*, vol. 42, n.º 4, págs. 526-534, oct. de 2011. DOI: 10.1016/j.jpainsymman.2010.12.006 (citado en la página 75).
- [110] B. N. Bero, E. Doerry, R. Middleton y C. Meinhardt, «Challenges in the development of environmental management systems on the modern university campus,» *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 13, n.º 2, págs. 133-149, abr. de 2012. DOI: 10.1108/14676371211211827 (citado en la página 75).
- [111] I. Gatto y F. Pittarello, «Creating Web3D educational stories from crowdsourced annotations,» *Journal of Visual Languages and Computing*, vol. 25, n.º 6, págs. 808-817, dic. de 2014. DOI: 10.1016/j.jv1c.2014.10.010 (citado en la página 75).
- [112] M. Kalúz, J. García-Zubía, M. Fikar y L. Čirka, «A Flexible and Configurable Architecture for Automatic Control Remote Laboratories,» *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 8, n.º 3, págs. 299-310, jul. de 2015. DOI: 10.1109/TLT.2015.2389251 (citado en la página 75).
- [113] P. Lu, X. Cong y D. Zhou, «E-learning-Oriented Software Architecture Design and Case Study,» *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 10, n.º 4, págs. 59-65, sep. de 2015. DOI: 10.3991/ijet.v10i4.4698 (citado en la página 76).

Bibliografía

- [114] M. A. Rajib, V. Merwade, I. L. Kim, L. Zhao, C. Song y S. Zhe, «SWATShare – A web platform for collaborative research and education through online sharing, simulation and visualization of SWAT models,» *Environmental Modelling and Software*, vol. 75, págs. 498-512, ene. de 2016. DOI: 10.1016/j.envsoft.2015.10.032 (citado en la página 76).
- [115] R. Pérez-Rodríguez, L. Anido-Rifón, M. Gómez-Carballa y M. Mouriño-García, «Architecture of a concept-based information retrieval system for educational resources,» *Science of Computer Programming*, vol. 129, págs. 72-91, nov. de 2016. DOI: 10.1016/j.scico.2016.05.005 (citado en la página 76).
- [116] I. Magnisalis y S. Demetriadis, «An Architecture Combining IMS-LD and Web Services for Flexible Data-Transfer in CSCCL,» *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 10, n.º 2, págs. 205-218, abr. de 2017. DOI: 10.1109/TLT.2015.2512604 (citado en la página 76).
- [117] S. Angelov y P. de Beer, «Designing and applying an approach to software architecting in agile projects in education,» *Journal of Systems and Software*, vol. 127, págs. 78-90, mayo de 2017. DOI: 10.1016/j.jss.2017.01.029 (citado en la página 76).
- [118] A. Muhammad, D. K. Saini, K. Zia y M. A. Fekihal, «Educational Aspects of Service Orientation: Smart Home Design issues and Technologies,» *TEM Journal*, vol. 6, n.º 2, págs. 250-257, mayo de 2017. DOI: 10.18421/TEM62-09 (citado en la página 76).
- [119] H. Cortés y A. Navarro, «Enterprise WAE: A Lightweight UML Extension for the Characterization of the Presentation Tier of Enterprise Applications with MDD-Based Mockup Generation,» *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, vol. 27, n.º 8, págs. 1291-1331, mayo de 2017. DOI: 10.1142/S0218194017500486 (citado en la página 76).
- [120] R. D. Araujo, T. Brant-Ribeiro, I. E. S. Mendonça, M. M. Mendes, F. A. Dorça y R. G. Cattelan, «Social and collaborative Interactions for Educational Content Enrichment in ULEs,» *Educational Technology and Society*, vol. 20, n.º 3, págs. 133-144, jul. de 2017 (citado en la página 76).
- [121] S. Ouf, M. Abd Ellatif, S. E. Salama e Y. Helmy, «A proposed paradigm for smart learning environment based on semantic web,» *Computers in Human Behavior*, vol. 72, págs. 796-818, jul. de 2017. DOI: 10.1016/j.chb.2016.08.030 (citado en la página 76).
- [122] A. Srai, F. Guerouate, N. Berbiche y H. Lahsini, «Generated PSM web model for e-learning platform respecting n-tiers architecture,» *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 12, n.º 10, págs. 212-220, nov. de 2017. DOI: 10.3991/ijet.v12i10.7179 (citado en la página 77).
- [123] B. Chaudhury, A. Varma, Y. Keswani, Y. Bhatnagar y S. Parikh, «Let's HPC: A web-based platform to aid parallel, distributed and high performance computing education,» *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 118, págs. 213-232, ago. de 2018. DOI: 10.1016/j.jpdc.2018.03.001 (citado en la página 77).

- [124] F. Cheng e Y. Yin, «Application of Computer Data Analysis Technology in the Development of a Physical Education Examination Platform,» *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 14, n.º 6, págs. 75-86, ene. de 2019. DOI: 10.3991/ijet.v14i06.10158 (citado en la página 77).
- [125] A. Aouine, L. Mahdaoui y L. Moccozet, «A workflow-based solution to support the assessment of collaborative activities in e-learning A design founded on IMS-LD meta-model,» *International Journal of Information and Learning Technology*, vol. 36, n.º 2, págs. 124-156, mar. de 2019. DOI: 10.1108/IJILT-01-2018-0004 (citado en la página 77).
- [126] A. Villar-Martínez, L. Rodríguez-Gil, I. Angulo, P. Orduña, J. García-Zubía y D. López-De-Ipiña, «Improving the Scalability and Replicability of Embedded Systems Remote Laboratories Through a Cost-Effective Architecture,» *IEEE Access*, vol. 7, págs. 164164-164185, nov. de 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2952321 (citado en la página 77).
- [127] Microsoft, *Chapter 3: Architectural Patterns and Styles*, Disponible en [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/msp-n-p/ee658117\(v=pandp.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/msp-n-p/ee658117(v=pandp.10)), Microsoft Corporation, ene. de 2010 (citado en la página 78).
- [128] Q. Lu, A. Binh Tran, I. Weber, H. O'Connor, P. Rimba, X. Xu, M. Staples, L. Zhu y R. Jeffery, «Integrated model-driven engineering of blockchain applications for business processes and asset management,» *Software-Practice & Experience*, vol. 51, n.º 5, págs. 1059-1079, mayo de 2021. DOI: 10.1002/spe.2931 (citado en la página 78).
- [129] M. L. Despa, «Comparative study on software development methodologies,» *Database Systems Journal*, vol. 5, n.º 3, págs. 37-56, 2014 (citado en la página 78).
- [130] K. Ordoñez, J. Hilera y S. Cueva, «Model-driven development of accessible software: a systematic literature review,» *Universal Access in the Information Society*, págs. 1-30, sep. de 2020. DOI: 10.1007/s10209-020-00751-6 (citado en la página 78).
- [131] A. Hussain y E. O. Mkpojiogu, «An application of the ISO/IEC 25010 standard in the quality-in-use assessment of an online health awareness system,» *Jurnal Teknologi*, vol. 77, n.º 5, nov. de 2015. DOI: 10.11113/jt.v77.6107 (citado en la página 79).
- [132] W. E. Deming, *The New Economics for Industry, Government, Education*, 2.ª ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2000 (citado en la página 81).
- [133] M. Di Nardo, D. Forino y T. Murino, «The evolution of man-machine interaction: the role of human in industry 4.0 paradigm,» *Production and Manufacturing Research-An Open Access Journal*, vol. 8, n.º 1, págs. 20-34, mar. de 2020. DOI: 10.1080/21693277.2020.1737592 (citado en la página 81).

Bibliografía

- [134] T. L. H. Nguyen y K. Nagase, «The influence of total quality management on customer satisfaction,» *International Journal of Healthcare Management*, vol. 12, n.º 4, págs. 277-285, jul. de 2019. DOI: 10.1080/20479700.2019.1647378 (citado en la página 81).
- [135] C. Busu y M. Busu, «The impact of applying the total quality management model on the performance of the Telecom organizations in Romania,» *Amfiteatru Economic*, vol. 19, n.º 11, págs. 1035-1049, nov. de 2017 (citado en la página 81).
- [136] R. Pietrantuono, A. Bertolino, G. De Angelis, B. Miranda y S. Russo, «Towards Continuous Software Reliability Testing in DevOps,» en *2019 IEEE/ACM 14th International Workshop on Automation of Software Test (AST)*, Montreal, QC, Canada: IEEE, mayo de 2019, págs. 21-27. DOI: 10.1109/AST.2019.00009 (citado en la página 83).
- [137] International Organization for Standardization, *ISO/IEC 25000:2005(en) Software Engineering — Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Guide to SQuaRE*, Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso-iec:25000:ed-1:v1:en>, 2005 (citado en la página 83).
- [138] M. Vučeković y K. Gavrilović, «Digital Transformation and Evolution of Business Models,» *IPSI BGD Transactions on Internet Research*, vol. 17, n.º 1, págs. 29-35, ene. de 2021 (citado en la página 84).
- [139] K. S. Kuppusamy y V. Balaji, «Evaluating web accessibility of educational institutions websites using a variable magnitude approach,» *Universal Access in the Information Society*, mayo de 2021. DOI: 10.1007/s10209-021-00812-4 (citado en la página 84).
- [140] M.-L. Sánchez-Gordón y L. Moreno, «Toward an Integration of Web Accessibility into Testing Processes,» *Procedia Computer Science*, vol. 27, págs. 281-291, 2014, 5th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion, DSAI 2013. DOI: 10.1016/j.procs.2014.02.031 (citado en la página 114).
- [141] H. Abuaddous, M. Zalisham y N. Basir, «Web Accessibility Challenges,» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 7, págs. 172-181, oct. de 2016. DOI: 10.14569/IJACSA.2016.071023 (citado en la página 117).