UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos

Doctorado en Ciencias y Tecnologías de la Computación para Smart Cities

TESIS DOCTORAL

**Framework para construir plataformas de Recursos Educativos
Abiertos (OCW y MOOC) orientadas a la Accesibilidad y Usabilidad**

AUTORA:

Germania Rodríguez Morales

DIRECTORA:

Dra. Jennifer Pérez Benedí

Madrid, Agosto 2019

Tribunal

Presidente/a:

PhD. Ana María Moreno Sanchez-Capuchino

CATEDRATICA DE UNIVERSIDAD. ETSI INFORMATICOS - UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID (UPM)

Vocal 1:

PhD. Carlos Enrique Cuesta Quintero

PROFESOR CONTRATADO DOCTOR. ETS INGENIERIA INFORMATICA - UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS

Vocal 2:

PhD. Elena María Navarro Martinez

SUBDIRECTORA DE RELACIONES EXTERNAS. ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA INFORMATICA - UNIVERSIDAD DE CASTILLA - LA MANCHA (UCLM)

Vocal 3:

PhD. José Antonio Gutierrez de Mesa

CATEDRATICO DE UNIVERSIDAD. DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACION - UNIVERSIDAD DE ALCALA (UAH)

Secretario/a:

PhD. Juan Garbajosa Sopena

CATEDRATICO DE ESCUELA UNIVERSITARIA. ETS DE INGENIERIA DE SISTEMAS INFORMATICOS - UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID (UPM)

Suplente:

PhD. Gregorio López Martinez

PROFESOR CONTRATADO DOCTOR. ETS DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACION - UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC)

Suplente:

PhD. Francisco José Garcia Peñalvo

PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS - UNIVERSIDAD DE SALAMANCA (USAL)

Agradecimientos

A Dios porque ha sido grande muy grande en mi vida, en esta ocasión me ha rodeado de grandes personas (ángeles) que han sido su instrumento para ayudarme a lograr esta meta profesional.

A la Doctora Jennifer Pérez Benedí por su invaluable apoyo y soporte durante esta etapa de mi formación, que me ha permitido crecer como investigadora y profesional de las ciencias de la computación, el mayor de los agradecimientos a ella por su calidad profesional sin la cuál el resultado de la tesis no sería el obtenido, y sobre todo por su calidad humana que inspira.

A mis amados Padres gracias por su permante e incondicional ayuda y cariño, por apoyarme en cada etapa de mi vida, por ser mi primer referente y ejemplo de vida.

A mi esposo e hijos por ser mi mayor soporte y motivación. Gracias por compartir conmigo esta travesía, con amor y paciencia.

A la UTPL institución en la que me desempeño profesionalmente, gracias por motivarme a tomar este reto y su valioso apoyo para lograrlo.

A los profesores de UPM y colegas en UTPL que fueron parte de mi formación doctoral, gracias por compartir su conocimiento, por su ejemplo de constancia y por su motivación constante.

Abstract

This PhD thesis provides a solution to increase the access and use of Open Educational Resources (OER), specially the Open CourseWare (OCW) and the Massive Open Online Courses (MOOC) in order to contribute to the advance of the universal knowledge and technology-oriented education.

This thesis presents a reference framework called AUREA to evaluate, improve and/or create accessibility and usability-oriented OER platforms. AUREA framework is constituted by two components that are complementary and smoothly integrated with the purpose of improving accessibility and usability in OER platforms. The first one addresses existing platforms; whereas the second one is focused on the construction of new platforms. The first component is an evaluation framework for the accessibility and usability improvement of in existing REA platforms, and the second components defines a product line and a software architecture for the creation of OER platforms that incorporate accessibility and usability features.

The first component of AUREA is a reference framework for the evaluation and improvement of accessibility and usability of OER platforms. This is the result of the literature review of works about accessibility and usability in web and open educational resources; as well as the review of available standards, norms and guidelines about these topics. In this context, the framework integrates an evaluation methodology based on WCAG-EM, evaluation mechanism and accessibility and usability improvements. Accessibility improvements are based on the WCAG 2.0 content accessibility guidelines of the W3C internet consortium adopted as standard in ISO 40500; whereas usability improvements are based on the attributes referenced by ISO 9241-11, on-line measurement tools and the usability aspects of the Sirius reference framework.

On the other hand, the second component is in charge of creating OER platforms that incorporate accessibility and usability features. To that end, a software product line (SPL) and a Product Line Architecture (PLA) for OER platforms has been defined. The common and variant software components and features of the SPL has been established from the results of a review of literature by using a systematic mapping that allowed the identification of styles, patterns and architectural components, as well as the functionalities and features of the OER platforms.

The two components of the reference framework have been applied to a case study of the Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) for their validation. This case study has demonstrated that the evaluation and improvement framework allow obtaining a quantitative and qualitative assessment of accessibility and usability in OER platforms. In addition, the software product line and the product line architecture have been putted into practice to provide the architect a proposal of accessibility and usability features to take into account in a specific OER platform as well as its software architecture.

This report describes the most relevant aspects of the process carried out to reach the proposed framework that includes: (i) the theoretical and conceptual basis of the domains of application, design and implementation of the thesis (ii) the description of the process of systematic review of literature through systematic mapping and the results obtained, (iii) the proposal of the AUREA framework for the evaluation and improvement of OER

platforms aimed at accessibility and usability, (iv) the proposal for the creation of OER platforms that incorporate accessibility and usability, (v) the validation of the AUREA framework and finally (vi) the conclusions obtained and future work.

Resumen

La presente tesis doctoral aporta una solución para incrementar el acceso y uso de los Recursos Educativos Abiertos (REA) de tipo Open CourseWare (OCW) y Massive Open Online Courses (MOOC) disponibles en la web y así aportar al avance del conocimiento universal y a la Educación mediada por tecnologías.

Para ello se propone un Marco de referencia (framework) para evaluar, mejorar y/o crear plataformas REA orientadas a la accesibilidad y usabilidad denominado AUREA. El marco de referencia está formado por dos componentes principales que se complementan con el propósito de mejorar la accesibilidad y usabilidad en plataformas REA tanto en plataformas existentes como en la construcción de nuevas plataformas a diseñar y construir, el primer componente es un marco de evaluación y mejora de la accesibilidad y usabilidad en plataformas REA disponibles, y el segundo define una línea de producto y arquitectura software para la creación de plataformas REA que incorporen las características de accesibilidad y usabilidad.

El primer componente de AUREA es un marco de referencia para la evaluación y mejora de la accesibilidad y usabilidad de REA. Este marco de referencia es el resultado del análisis de la revisión de la literatura sobre trabajos realizados que abordan las temáticas accesibilidad y usabilidad web y en recursos educativos abiertos; así como la revisión de estándares, normas y guías disponibles orientadas a estas características. En este contexto el marco integra una metodología de evaluación basada en WCAG-EM, instrumentos de evaluación y mejora de accesibilidad basados en las guías para accesibilidad de contenido WCAG 2.0 del consorcio de internet W3C, adoptado como estándar en la ISO 40500, y de mejora de usabilidad basados en los atributos referenciados por la ISO 9241-11, las herramientas de medición en línea y los aspectos de usabilidad del marco de referencia Sirius.

Por otro lado, el segundo componente se encarga de la creación de plataformas REA que incorporen las características de accesibilidad y usabilidad. Para ello se plantea una línea de producto software (SPL), acrónimo de *Software Product Line*, y una arquitectura de líneas de producto software base para plataformas REA. Los componentes software fijos y variantes que se incorporan, así como las funcionalidades que cubren, son el resultado de una revisión de la literatura mediante un mapeo sistemático que permitió identificar los estilos, patrones y componentes arquitectónicos, así como las características y funcionalidades que ofrecen este tipo de plataformas.

Los dos componentes del marco de referencia se han aplicado al caso de estudio de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) con propósito de validación, donde se comprueba que el marco de evaluación y mejora permite obtener una valoración cuantitativa y cualitativa de la accesibilidad y usabilidad en plataformas REA, puntualmente el caso de estudio la iniciativa OCW UTPL. Por otro lado, se comprueba que la línea de producto y arquitectura software propuestas, permiten obtener una propuesta de características de accesibilidad y usabilidad a considerar y una arquitectura de software base para que una plataforma REA incorpore accesibilidad y usabilidad.

En esta memoria se describe los aspectos más relevantes del proceso realizado para llegar al marco de referencia propuesto que incluye: (i) el fundamento teórico y conceptual de los dominios de aplicación, diseño e implementación de la tesis (ii) la descripción del proceso de revisión sistemática de literatura a través del mapeo sistemático y los resultados obtenidos, (iii) la propuesta del marco AUREA para la evaluación y mejora de plataformas REA orientadas a la accesibilidad y usabilidad, (iv) la propuesta de creación de plataformas REA que incorporen accesibilidad y usabilidad, (v) la validación del marco AUREA y finalmente (vi) las conclusiones obtenidas y los trabajos futuros.

Tabla de Contenidos

TRIBUNAL	3
AGRADECIMIENTOS	5
ABSTRACT	7
RESUMEN.....	9
TABLA DE CONTENIDOS	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 PROBLEMA	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.3 CONTRIBUCIONES DE LA TESIS.....	20
1.4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	22
1.5 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	24
CAPÍTULO 2: BACKGROUND	27
2.1 RECURSOS EDUCATIVOS ABIERTOS (REA), OPEN COURSEWARE (OCW) Y MASSIVE OPEN ONLINE COURSES (MOOC)	27
2.2 SISTEMAS SOFTWARE / PLATAFORMAS PARA REA.....	31
2.3 ACCESIBILIDAD Y USABILIDAD DE SOFTWARE	32
2.4 MEDICIÓN DE ACCESIBILIDAD	34
2.5 MEDICIÓN DE LA USABILIDAD.....	42
2.6 ARQUITECTURAS SOFTWARE Y LÍNEAS DE PRODUCTO SOFTWARE.....	49
CAPÍTULO 3: ARQUITECTURAS Y LÍNEAS DE PRODUCTO SOFTWARE PARA SISTEMAS/PLATAFORMAS REA ACCESIBLES Y USABLES	55
3.1 METODOLOGÍA: MAPEO SISTEMÁTICO DE LITERATURA	55
3.2 MAPEO SISTEMÁTICO DE LITERATURA: ARQUITECTURAS PARA SISTEMAS/PLATAFORMAS REA ACCESIBLES Y USABLES	57
3.2.1 Definición de las preguntas de investigación.....	57
3.2.2 Búsqueda.....	58
3.2.3 Selección de estudios primarios.....	58
3.2.4 Esquema de clasificación (keywording).....	67
3.2.5 Clasificación y análisis.....	68
3.2.6 Rigor y Relevancia.....	70
3.2.7 Validación.....	71
3.3 INFORME DE RESULTADOS DEL MAPEO SISTEMÁTICO.....	72
3.4 RESPUESTA A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	73
3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	85
CAPÍTULO 4: AUREA. UN MARCO DE TRABAJO PARA LA EVALUACIÓN, CONSTRUCCIÓN Y MEJORA DE PLATAFORMAS DE RECURSOS EDUCATIVOS ABIERTOS (OCW Y MOOC) ORIENTADAS A LA ACCESIBILIDAD Y USABILIDAD.....	89
4.1 AUREA (ACCESIBILIDAD Y USABILIDAD PARA REA)	89
4.2 EVALUACIÓN Y MEJORA DE ACCESIBILIDAD Y USABILIDAD PARA SISTEMAS O PLATAFORMAS REA	91
4.2.1 Metodología de Evaluación de Accesibilidad y Usabilidad para plataformas REA	91
4.2.2 Métricas de evaluación de Accesibilidad ISO40500 y usabilidad ISO9241.....	94
4.2.2.1 Evaluación de la Accesibilidad	94
4.2.2.2 Medición de la Usabilidad	97
4.2.3 MARCO DE MEJORAS DE LA ACCESIBILIDAD ISO40500 Y USABILIDAD ISO9241 DE SISTEMAS O PLATAFORMAS REA	99

4.2.4 ENRIQUECIMIENTO ITERATIVO DEL MARCO DE REFERENCIA DE MEJORAS DE ACCESIBILIDAD Y USABILIDAD DE SITIOS REA.....	109
4.3 CONCLUSIONES.....	109
CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMAS DE RECURSOS EDUCATIVOS ABIERTOS BASADA EN LÍNEAS DE PRODUCTO SOFTWARE	111
5.1 VARIABILIDAD EN REQUISITOS NO FUNCIONALES	111
5.1.1 Basados en Modelos de Características	111
5.1.2 Basados en Lenguaje Unificado de Modelado (UML).....	113
5.1.3 Basados en Modelos de Variabilidad Ortogonales	114
5.1.4 Discusión	114
5.2 MODELO DE VARIABILIDAD CON MODELOS ORTOGONALES DE VARIABILIDAD ESPECÍFICOS DEL DOMINIO NO FUNCIONAL (NON-FUNCTIONAL SPECIFIC OVM).....	115
5.2.1 Modelo de Variabilidad Ortogonal Funcional para plataformas REA	119
5.2.2 Modelo de variabilidad no funcional.....	126
5.3 MODELO DE VARIABILIDAD ORTOGONAL (OVM) DE ACCESIBILIDAD	126
5.4 MODELO DE VARIABILIDAD ORTOGONAL (OVM) DE USABILIDAD	138
5.5 ARQUITECTURA	148
5.6 TRAZABILIDAD DEL OVM CON LA ARQUITECTURA.....	163
CAPÍTULO 6: VALIDACIÓN DE AUREA: INICIATIVA REA DE OPEN COURSE WARE Y MOOC DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA (UTPL)	167
6.1 HIPÓTESIS	167
6.2 MÉTODO	167
6.3 CONTEXTO DEL CASO DE ESTUDIO	167
6.4 VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA	169
6.4.1. Alcance y objetivo de la evaluación	169
6.4.2. Exploración del Sitio Web	170
6.4.3. Seleccionar una muestra representativa.....	170
6.4.4. Auditoría de la muestra.....	171
6.4.4.1 Evaluación de Accesibilidad.....	171
6.4.4.2 Evaluación de Usabilidad	172
6.4.5. Informar resultados de evaluación	174
6.5 VALIDACIÓN DE LA SPL.....	177
6.5.1 Objetivo de la validación	177
6.5.2 Resultados.....	177
6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	183
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	185
7.1 CONCLUSIONES.....	185
7.2 TRABAJOS FUTUROS	188
BIBLIOGRAFÍA	189
ANEXOS	199

Índice de Figuras

Figura 1: Adaptación clasificación de REA (Adaptado de Camilleri [33])	28
Figura 2: Modelo de Variabilidad Ortogonal Nomenclatura y transversalidad	52
Figura 3: Ejemplo de restricciones en OVM (Adaptado de [100])	53
Figura 4: Proceso de mapeo sistemático aplicado	57
Figura 5: Número de artículos resultantes por cada fase para la selección de estudios primarios	67
Figura 6: Proceso de definición del esquema de clasificación (keywording), Fernández-Sánchez [25]	68
Figura 7: Estudios primarios por año.....	72
Figura 8: Fuentes de los estudios primarios.....	73
Figura 9: Rigor y Relevancia de los estudios primarios	73
Figura 10: Artículos por tipo de REA.....	74
Figura 11: Estilo o patrón arquitectónico, o su combinación.....	76
Figura 12: Diagrama de burbujas de estilos y patrones arquitectónicos o su combinación.....	76
Figura 13: Componentes arquitectónicos.....	79
Figura 14: Diagrama de burbujas de los componentes arquitectónicos por tipo de REA.....	79
Figura 15: Número de características no funcionales.....	81
Figura 16: Categorías de las características funcionales.....	83
Figura 17: Funcionalidades de gestión de contenido.....	84
Figura 18: Otras características funcionales	84
Figura 19: Diagrama de burbujas de funcionalidades para accesibilidad y usabilidad por cada tipo de REA.....	85
Figura 20: Diagrama de capas de los componentes software para plataformas REA.....	86
Figura 21: AUREA: Marco de Referencia de Mejoras de Accesibilidad y Usabilidad de sitios REA	90
Figura 22: Marco de evaluación de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA.....	91
Figura 23: Metodología de evaluación de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA	92
Figura 24: Elementos de evaluación de accesibilidad y usabilidad.....	94
Figura 25 Ejemplo de modelo de características para un SPL en un dominio HIS (Adaptado de Benavides et al. [161]).....	112
Figura 26: Subárboles de características por tipo de transformadores (Adaptado de Chavarriaga et al. [169]).....	113
Figura 27: OVM no funcionales y modelo de calidad en las fases de ingeniería de dominio e ingeniería de aplicaciones	117
Figura 28: Extensión del OVM de accesibilidad.....	118
Figura 29: Trazabilidad del OVM propuesto y la arquitectura de las plataformas REA	119
Figura 30: Modelo de variabilidad ortogonal Funcional para plataformas REA	120
Figura 31: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de contenido	121
Figura 32: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de estructura.....	122
Figura 33: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de usuarios	123
Figura 34: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de actividades.....	123
Figura 35: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de contexto.....	124
Figura 36: OVM funcional para plataformas REA: Otros.....	125
Figura 37: OVM general de Accesibilidad	127
Figura 38: OVM de Accesibilidad – Guía Perceptible (Perceivable).....	128
Figura 39: OVM de Accesibilidad – Guía Operable (Operable).....	129
Figura 40: OVM de Accesibilidad – Guía Entendible (Understandable)	130
Figura 41: OVM de Accesibilidad – Guía Robusto (Robust)	131
Figura 42: Modelo de calidad asociado a OVM de accesibilidad: Guía Perceptible (Perceivable)	135
Figura 43: Modelo de calidad asociado a OVM de accesibilidad: Guía Operable (Operable) .	136

Figura 44: Modelo de calidad asociado a OVM de accesibilidad: Guía Entendible (Understandable)	137
Figura 45: Modelo de calidad asociado a OVM de accesibilidad: Guía Robusto (Robust).....	138
Figura 46: Modelo de variabilidad ortogonal de Usabilidad para plataformas REA.....	139
Figura 47: OVM Usabilidad: subárbol Aspectos generales (VP1.1).....	139
Figura 48: OVM Usabilidad: subárbol Identidad (VP1.2).....	140
Figura 49: OVM Usabilidad: subárbol Navegación (VP1.3).....	140
Figura 50: OVM Usabilidad: subárbol Diseño (VP1.4)	141
Figura 51: OVM Usabilidad: subárbol Interacción (VP1.5).....	141
Figura 52: OVM Usabilidad: subárbol Multimedia (VP1.6)	141
Figura 53: OVM Usabilidad: subárbol Buscar (VP1.7).....	142
Figura 54: OVM Usabilidad: subárbol Ayuda (VP1.8).....	142
Figura 55: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Aspectos Generales	145
Figura 56: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Identidad.....	145
Figura 57: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Navegación	146
Figura 58: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Diseño.....	146
Figura 59: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Interacción	146
Figura 60: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Multimedia.....	147
Figura 61: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Buscar.....	147
Figura 62: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Ayuda	147
Figura 63: Componentes comunes y opcionales en la Arquitectura para plataformas REA.....	150
Figura 64: Marco de referencia arquitectónico para plataformas REA	153
Figura 65: Capa de Presentación.....	153
Figura 66: Capa de Servicios - Arquitectura plataforma REA.....	155
Figura 67: Orquestación Servicios Crear Curso.....	155
Figura 68: Orquestación servicios Actualizar Curso	156
Figura 69: Capa Componentes	156
Figura 70: Componente CMS	157
Figura 71: Componente LMS.....	158
Figura 72: Componente Gestión de datos.....	159
Figura 73: Componente Gestión de comunicación.....	160
Figura 74: Componente gestión de contexto.....	161
Figura 75: Componente Usuarios.....	161
Figura 76: Componente Analítica	161
Figura 77: Capa de Datos.....	162
Figura 78: Capa de Comunicación	162
Figura 79: Capa de Seguridad.....	163
Figura 80: Interface iniciativa OCW UTPL.....	168
Figura 81: Interface iniciativa MOOCs UTPL.....	169
Figura 82: Configuración actual de accesibilidad del MOOC UTPL.....	178
Figura 83: Diagrama de componentes de la arquitectura actual MOOC UTPL derivada de la SPL	179
Figura 84 Configuración mínima deseable para sitios MOOC en el OVM de accesibilidad....	180
Figura 85: Diagrama de componentes de la arquitectura deseada para iniciativas MOOC derivada de la SPL.....	183

Índice de Tablas

Tabla 1 Resumen de las contribuciones de la Tesis doctoral	22
Tabla 2: Principios, pautas y criterios WCAG 2.0 por nivel de accesibilidad	35
Tabla 3: Escala de medición de la accesibilidad (Adaptado de [39])	40
Tabla 4: Descripción de los Aspectos a evaluar Sirius	43
Tabla 5: Valores de evaluación textual y numérico [82]	46
Tabla 6: Relevancia de los aspectos de Sirius	47
Tabla 7: Relevancia de los criterios de Sirius	48
Tabla 8: Breve descripción de las fases del mapeo sistemático aplicado	57
Tabla 9: Número de artículos primarios por base de datos	59
Tabla 10: Estudios primarios seleccionados	60
Tabla 11: Número y porcentaje de artículos por estilo o patrón arquitectónico.....	75
Tabla 12: Número y porcentaje de estudios primarios que incluyen un componente	78
Tabla 13: Características no funcionales	80
Tabla 14: Número de artículos y porcentaje de características funcionales.....	82
Tabla 15: Herramientas de evaluación automáticas de accesibilidad web.....	95
Tabla 16: Criterios de evaluación de accesibilidad ISO 40500.....	95
Tabla 17: Herramientas de evaluación de la eficacia y eficiencia de un sitio web.....	98
Tabla 18: Criterios de evaluación de la Usabilidad.....	98
Tabla 19: Propuesta de mejoras de accesibilidad.....	100
Tabla 20 Propuesta de mejoras de usabilidad	105
Tabla 21: Información de cada atributo en el Modelo de calidad del OVM de Accesibilidad .	131
Tabla 22: Valores de los V y VP en el OVM de Accesibilidad	132
Tabla 23: Nivel cualitativo de Accesibilidad (Adaptación de Hilera et al. [77])	134
Tabla 24: Información de cada atributo en el Modelo de calidad del OVM de Usabilidad para plataformas REA	143
Tabla 25: Valores de los V y VP en el OVM de Usabilidad.....	143
Tabla 26: Escala cualitativa de medición de la usabilidad (Adaptación de Hilera et al. [77])..	148
Tabla 27: Componentes arquitectónicos para plataformas REA encontrados en el Mapeo de bibliografía.....	149
Tabla 28: Relaciones entre componentes arquitectónicos de plataformas REA	151
Tabla 29: Traza VP Funcionales con componentes de la arquitectura	163
Tabla 30: Traza VP de Accesibilidad con componentes de la arquitectura	164
Tabla 31: Traza VP de Usabilidad con componentes de la arquitectura.....	165
Tabla 32: Resultados obtenidos de la herramienta PageSpeed Insights	172
Tabla 33: Errores de accesibilidad identificados en el caso de estudio OCW UTPL.....	174
Tabla 34: Errores de usabilidad identificados en el caso de estudio OCW UTPL	175
Tabla 35: Mejoras o soluciones a los problemas de accesibilidad y usabilidad identificados en el caso de estudio OCW UTPL.....	176
Tabla 36: Resultados de evaluación de Accesibilidad del UTPL MOOC.....	178
Tabla 37: Nivel de características de Accesibilidad deseadas para sitios MOOC.....	180
Tabla 38: Diseño de la ciencia guías de investigación	202
Tabla 39: Estrategias cualitativas y cuantitativas en métodos empíricos	204

Capítulo 1: Introducción

La Organización de Naciones Unidas para la Educación, la ciencia y la cultura (UNESCO) [1] declara que *«la Educación es un derecho humano fundamental indisolublemente ligado a la Declaración Universal de Derechos Humanos (1948) y a muchos de sus instrumentos.»* Este derecho se considera clave, puesto que permite el *«completo ejercicio y disfrute de todos los demás derechos humanos, civiles, culturales, económicos, sociales y políticos»* [2] ya que estos pueden disfrutarse de mejor manera si las personas han recibido una educación mínima.

El derecho a la Educación se ratifica por la Organización de Naciones Unidas (ONU) en la Agenda de desarrollo sostenible 2030 [3], y sus 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), ratifica la importancia de la Educación en el objetivo 4 (ODS4): Educación de calidad. La educación se presenta como la base para mejorar nuestra vida y la clave para lograr un desarrollo sostenible, escapar de la pobreza, lograr inclusión y equidad, así como fomentar la tolerancia entre las personas, y contribuir a crear sociedades más pacíficas. Por ello, la educación ha de evolucionar a la par que nuestra sociedad.

La sociedad de la información en la que vivimos el uso de las TIC es parte de la vida cotidiana. De ahí, que las Tecnologías de información (TI) se haya aplicado a la Educación, y esta adopción ha proporcionado nuevas y mejores formas de aprendizaje. El aprendizaje electrónico o mediado por tecnología, *«e-Learning se da gracias al uso generalizado de las computadoras y el acceso global a Internet, permitiendo que el aprendizaje se realice en cualquier tiempo y lugar, a través de Internet y de aplicaciones software que median la interacción entre estudiantes, docentes y contenidos»* [4].

En el e-Learning, la reutilización e integración de contenidos es uno de los aspectos más importantes, ya que conlleva el objeto mismo del aprendizaje, que es la transferencia de conocimiento. Es así que de poco sirve un contenido o recurso educativo que conlleva el tiempo, el esfuerzo, el conocimiento, la experiencia y la calidad de uno o un grupo de docentes, si este es accesible únicamente para un grupo de personas resultando inaccesible para la mayoría. Por ello, atendiendo el requisito de compartir el contenido educativo de forma sistemática, surgen los Objetos de Aprendizaje (OA), LO acrónimo de su nombre en inglés *Learning Objects*. Wiley [5] menciona que este término fue introducido por Wayne Hodgins en 1994, recibiendo la aceptación inmediata por parte de los educadores y diseñadores de contenido, ya que permite la reutilización de contenidos de aprendizaje en una amplia gama de contextos de forma fácil. En la actualidad las iniciativas de OA siguen vigentes y creciendo a nivel mundial, tal y como se puede apreciar en el compilador automatizado de estadísticas sobre repositorios de OA Repository66.org¹, que, a fecha de abril 2019 registra 3045 repositorios con más de 12 millones de recursos asociados.

La combinación de los OA con la tendencia de contenido Abierto (Open) mediante licencias abiertas, dio origen a los denominados Recursos Educativos Abiertos (REA) u OER su acrónimo del inglés de *Open Educational Resources*. Este concepto fue

¹ <http://maps.repository66.org/>

propuesto por la UNESCO en 2002 y definido como cualquier material educativo que se publique con licencias abiertas.

En el ámbito de la Educación Superior los REA se materializaron a través los *Open CourseWare* (OCW) y los *Massive Open Online Courses* (MOOC). A principios de 2002, el mundialmente famoso Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) lanzó al mundo un programa de cursos abiertos denominado *Open CourseWare*, para publicar en Internet su información curricular completa sin coste, y rápidamente se convirtió en un modelo para la educación global [6]. De hecho, a fecha de 2019, según la información de su portal web², disponen de 2400 cursos con más de 300 millones de visitas registradas de todo el mundo.

Los MOOCs surgen en el 2008, cuando alrededor de 2,300 estudiantes participaron del curso llamado "Conectivismo y Conocimiento Conectivo", organizado por la Universidad de Manitoba, Canadá [7]. Los MOOCs surgen como un modelo para ofrecer contenido de aprendizaje a cualquier persona que quiera tomar un curso, sin límite de asistencia a través de Internet. *«El objetivo del MOOC es abrir la educación y brindar acceso gratuito a la educación de nivel universitario para la mayor cantidad posible de estudiantes»* [8]. Es así que en la actualidad *«la importancia de los recursos abiertos y el e-Learning es incuestionable con cientos de miles de personas inscritas en contenidos abiertos tipo MOOCs»* [9]. Sin embargo, aún con el gran auge de las plataformas MOOC, éstas presentan algunos problemas, como lo es la tasa de deserción de hasta el 95% [10].

La declaración de la Unesco sobre los REA [11] en 2002 en su literal a), entre otras cosas enfatiza en el acceso y uso de los recursos educativos abiertos como un medio para ampliar el acceso a la educación en todos los niveles, tanto formal como no formal, en una perspectiva de aprendizaje a lo largo de toda la vida, contribuyendo así a la inclusión social, a la igualdad entre hombres y mujeres y a la educación para personas con necesidades educativas especiales. Es en este punto, donde la usabilidad y la accesibilidad de estos REA cobran un papel crucial.

En este contexto, esta tesis doctoral se enfoca en facilitar la creación y adaptación de REA sensibles a la accesibilidad y usabilidad incorporando atributos no funcionales de accesibilidad y usabilidad fundamentales para lograr un mejor acceso y uso, y optimizar recursos durante su diseño, desarrollo y mantenimiento. Todo ello, sustentado por una metodología de evaluación de accesibilidad y usabilidad de REA y poniendo especial énfasis en las arquitecturas software que los conforman y en su construcción basada en líneas de producto software (LPS), para fomentar la reutilización de componentes comunes en los REA.

1.1 Problema

Pese a que cientos de Universidades se han unido al movimiento de la apertura de sus recursos educativos a través de cursos disponibles en Internet en el orden de decenas de miles [12]. El real acceso y uso a éste tipo de recursos no es el esperado por sus promotores o hay poca evidencia del mismo. Vlaudoiu [13] menciona que *«si bien existe una gama muy amplia de los REA para prácticamente todas las disciplinas, y su*

² <https://ocw.mit.edu/index.htm>

infraestructura para la búsqueda está muy bien organizada; el uso que se hace de los REA en la práctica educativa real, se está quedando detrás de las expectativas». Es así que aunque las tendencias de uso y posibilidades de explotación en REA se han incrementado en los últimos años, igualmente lo han hecho las preocupaciones e inconformidades respecto al logro de su propósito de *«hacer avanzar el conocimiento y educación mundial, a través del acceso a contenidos de alta calidad»* [14].

Moltó y Caballer [9] afirman que *«los recursos educativos en línea se pueden producir y distribuir fácilmente con la ayuda de una gran cantidad de herramientas de software económicas y servicios basados en Internet o en la nube disponibles actualmente».* Por lo tanto, ahora es más fácil que nunca, producir y administrar cursos en línea [15] a los que pueden acceder muchos estudiantes en todo el mundo. Es así que el Foro Mundial de REAs 2012 identifica que con miles de materiales producidos y compartidos de manera abierta en Internet, el foco del movimiento de Educación Abierta se desplaza hacia la necesidad de demostrar su acceso, uso e impacto [16].

En el mismo sentido Caeiro-Rodriguez mencionan que los recursos educativos abiertos se propusieron como una forma de desarrollar los principios del Movimiento Abierto en el dominio educativo. A pesar de la visión abierta y participativa que subyace a esta propuesta, los usuarios no han adoptado de manera significativa este concepto. Muchos problemas y barreras han sido considerados y analizados. No obstante los problemas principales que detectan es la contradicción entre las definiciones propuestas y el soporte real proporcionado por las plataformas [17].

Vlaudoi en [13] confirma que *«el éxito de las iniciativas de Recursos Educativos Abiertos (OER) y Open Courseware (OCW) en todo el mundo, que ha dado lugar a una gran cantidad de recursos de instrucción en línea y repositorios disponibles de forma gratuita, conlleva un desafío constante».* En el caso de los MOOC, a pesar del auge de este tipo de plataformas, este fenómeno ha venido acompañado de algunos problemas, como la tasa de deserción, de hasta el 95% [10].

La realidad de los MOOC es confirmada por Atiaja en [18], donde mencionan que a primera vista los MOOC parecen ser una gran solución para que muchas personas, ya que en cualquier momento, pueden acceder libremente a la información y adquirir habilidades. Sin embargo la práctica social ha demostrado que su supervivencia depende de los diferentes recursos tecnológicos para su funcionamiento, lo que evidencia la necesidad de rediseñar las plataformas MOOC para mejorar su papel en el proceso de enseñanza [10].

1.2 Objetivos

Los objetivos planteados para la presente tesis doctoral son:

Objetivo General (OG)

- Definir un marco de trabajo basado en líneas de producto software para mejorar la accesibilidad y usabilidad en el contenido de Recursos Educativos Abiertos (REA).

Objetivos Específicos (OE)

- OE1: Definir un marco para la evaluación y mejora de accesibilidad y usabilidad en contenido REA basado en estándares, metodologías, patrones y herramientas disponibles.
- OE2: Obtener el estado actual de arquitecturas y líneas de producto software, componentes, funcionalidades y patrones definidos y aplicados en el contenido REA.
- OE3: Proponer una arquitectura y una línea de producto software centrada en accesibilidad y usabilidad para el contenido REA.
- OE4: Construir un framework que permita seleccionar mediante una línea de producto software la funcionalidad del REA centrado en accesibilidad y usabilidad, generando las variantes arquitectónicas viables y a modo de sistema recomendador, recomendar aquellas que potencien la accesibilidad y usabilidad en el diseño.
- OE5: Validar el framework de dos formas:
 - a. Demostrando que es capaz de medir la accesibilidad y usabilidad de al menos un contenido una plataforma/sistema REA existente, ofreciéndole como resultado propuestas de mejora
 - b. Demostrando que es capaz de generar una configuración inicial de arquitectura software para la creación de un nuevo REA que potencie accesibilidad y usabilidad.

1.3 Contribuciones de la tesis

Esta sección resume las principales contribuciones resultado de las actividades realizadas para lograr los objetivos de la presente tesis doctoral y que se resumen en la Tabla 1.

La primera contribución, publicación (P1) fue resultado de la primera actividad realizada para limitar el problema referente al acceso y uso de los recursos educativos abierto, y su posible solución con una metodología para la evaluación del nivel de accesibilidad y usabilidad para sitios de Recursos Educativos Abiertos tipo Open CourseWare mediante la aplicación de estándares de accesibilidad y usabilidad.

(P1) Germania Rodríguez, Jennifer Perez, Samanta Cueva, Rommel Torres, *A framework for improving web accessibility and usability of Open CourseWare sites*, **Computers & Education**, 2017 [19]

La segunda contribución, publicación (P2) fue el resultado de la aplicación y validación del marco de referencia propuesto en un caso de estudio. Concretamente, el OCW de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).

(P2) Germania Rodríguez, Jennifer Perez, Samanta Cueva, Rommel Torres, *Accessibility and Usability OCW Data: The UTPL OCW*, **Journal Data in Brief Open Access, Elsevier**, 2017. [20]

En la tercera contribución, publicación (P3) se sintetizó el propósito y resultados esperados de la tesis doctoral, con el objeto de obtener validación y retroalimentación de la propuesta desde un punto de vista arquitectónico.

(P3) Germania Rodríguez, Jennifer Pérez. *Towards a Reference Software Architecture for Improving the Accessibility and Usability of Open CourseWare*, **ECSA '17 Proceedings of the 11th European Conference on Software Architecture: Companion Proceedings**, Doctoral Symposium, Pages 35-38, 2017 [21]

La cuarta contribución, publicación 4 (P4) es el resultado del estudio y análisis de la usabilidad en entornos virtuales de aprendizaje para consideración en la línea de producto definida en esta tesis.

(P4) Germania Rodríguez, Pablo Torres, Jennifer Perez, Luis Campoverde, *Improving the Design of Virtual Learning Environments from a Usability Study*, **Advances in Intelligent Systems and Computing**, 2018 [22].

La quinta contribución, publicación 5 (P5) presenta el proceso de revisión bibliográfica realizado para obtener el estado actual de las arquitecturas y líneas de producto software aplicadas al dominio de interés de los REA. Esta publicación detalla los cimientos para construir tanto la Línea de Productos Software, como la propuesta arquitectónica.

(P5) Germania Rodríguez, Jennifer Perez, Agustin Yague, Daniel Guamán. *Product Line Architectures in Open Educational Resources: A Systematic Mapping Study*, Software Quality Journal (Enviado, en proceso de Revisión).

La sexta contribución, publicación 6 (P6) realiza la propuesta de cómo incorporar la accesibilidad y la usabilidad en la familia de los REA a través de una línea de producto software, así como la definición de la línea de producto de accesibilidad para la familia de los productos REA.

(P6) Germania Rodríguez, Jennifer Perez, David Benavides. *Accessibility Variability Model: The UTPL MOOC Case Study*, **Software Product Line Conference SPLC'19 Companion Proceedings**, 2nd International Workshop on Experiences and Empirical Studies on Software Reuse (WEESR 2019), 2019.

Tabla 1 Resumen de las contribuciones de la Tesis doctoral

Id. de la contribución	Título de la Contribución	Tipo de contribución	Indexación	Estado	Objetivo de la tesis
P1	A framework for improving web accessibility and usability of Open Course Ware sites	Computers and Education Journal	JCR 2018 2.323 Quartil 1 Computer Science (Miscellaneous)	Publicado 2017	OE1 OE5.a
P2	Accessibility and usability OCW data: The UTPL OCW	Data in Brief Journal	SCImago Journal Rank (SJR), Multidisciplinary: Q1(0.366)	Publicado 2017	OE1 OE5.a
P3	Towards a reference software architecture for improving the accessibility and usability of open course ware	ACM International Conference Proceedings Series		Publicado 2017	OE3 OE4
P4	Improving the Design of Virtual Learning Environments from a Usability Study	Advances in Intelligent Systems and Computing Journal	SCImago Journal Rank (SJR), Computer Science (Miscellaneous): Q3 (0.17))	Publicado 2018	OE1
P5	Product Line Architectures in Open Educational Resources: A Systematic Mapping Study	Software Quality Journal	JCR 2018 Software Engineering Q3	Enviado Julio 2019	OE2
P6	Accessibility Variability Models: The UTPL MOOC Case Study	Conference Paper - 2nd International Workshop on Experiences and Empirical Studies on Software Reuse (WEESR 2019)		Publicado 2019	OE4 OE5.b

1.4 Metodología de investigación

La metodología de investigación utilizada para el desarrollo de la tesis fue la combinación de los principios de investigación propuestos por el *diseño de ciencia* como marco de referencia para la investigación, complementado con *métodos empíricos en ingeniería de software* que permiten involucrar aspectos humanos y organizacionales a la investigación y el *mapeo sistemático de literatura en ingeniería de software* para evaluar la evolución del problema y las posibles soluciones en el tiempo.

El *Diseño de ciencia* propuesto por [23] es la base metodológica sobre la cual se desarrolla la investigación. El Diseño de ciencia es un método de investigación iterativo basado en el paradigma de resolución de problemas que incluye el diseño, creación y validación de artefactos para resolver un problema identificado. Dichos artefactos están representados en una forma estructurada que puede variar desde software, lógica formal y matemáticas rigurosas hasta descripciones de lenguaje natural informal. Esta metodología se describe a detalle en el **Anexo A**.

Esta tesis doctoral principalmente ha aplicado esta metodología diseñando diversos artefactos para su uso y aplicación. Esta adopción se describe a continuación a través de las guías definidas para el diseño de ciencia (ver Tabla 2 del Anexo A):

- Guía 1. La investigación debe proporcionar artefactos viables como respuesta al problema identificado: El resultado del capítulo 4 de la memoria muestra tanto el marco de trabajo diseñado para la adopción de la propuesta de esta tesis doctoral, como una metodología de evaluación de accesibilidad y usabilidad de plataformas web de REA. Ambos artefactos se presentan como modelos de proceso para su uso. Además, en el capítulo 5 se presenta la línea de producto software diseñada como un artefacto de tipo modelo para incorporar accesibilidad y usabilidad en la construcción de plataformas REA.
- Guía 2. La investigación debe proveer soluciones a problemas relevantes: El capítulo 1 describe el problema que se pretende solucionar y su relevancia.
- Guía 3. La evaluación del diseño debe ser rigurosa: En el capítulo 6 muestra la aplicación de métodos empíricos para evaluar la utilidad, calidad y eficacia del marco de referencia propuesto.
- Guías 4. La investigación debe proveer contribuciones claras y verificables: En el capítulo 1 se detallan de forma precisa los objetivos planteados y verificables en la investigación, así como el modo en el que se van a validar.
- Guía 5. Rigor de la investigación: La investigación ha sido realizada considerando principios y métodos de investigación científicamente aceptados como son el diseño de ciencia, el mapeo sistemático complementados con métodos empíricos para ingeniería de software.
- Guía 6. Diseño como un proceso de investigación: Los capítulos 4 y 5 documentan el proceso de diseño tanto del marco de trabajo como de la metodología y la línea de producto software para incorporar accesibilidad y usabilidad en plataformas REA, considerando estándares mundialmente aceptados y métodos de modelado referentes en ingeniería de software.
- Guía 7. Comunicación de la investigación: El capítulo 1 muestra los aportes de investigación publicados como contribuciones de la tesis.

Complementando la metodología de Diseño de la ciencia, para obtener el estado actual de la temática se utilizó el *mapeo sistemático en ingeniería de software* propuesto por Petersen [24] y la adaptación realizada en el trabajo de Fernández-Sánchez et. al [25]. El

objetivo del mapeo sistemático fue identificar el estado actual de las arquitecturas y líneas de producto software para los REA, identificar nichos en los cuales se puede aportar, porque aún no han sido abordados, y responder a preguntas de investigación planteadas para el mapeo. Los pasos y salidas obtenidos se muestran en detalle en el capítulo 3 y se resumen a continuación:

1. Definición de las preguntas de investigación – Se definieron 4 preguntas de investigación orientadas a identificar los estilos arquitectónicos, los componentes arquitectónicos, las funcionalidades, los requisitos no funcionales de accesibilidad y usabilidad.
2. Realizar la búsqueda – Se seleccionaron 5 bases de datos científicas donde se realizaría la búsqueda, se definieron las cadenas de búsqueda y se ejecutó la búsqueda.
3. Selección de estudios primarios – Se definen criterios de inclusión y exclusión se realiza una lectura rápida de los artículos y se selecciona aquellos que aportan a responder las preguntas de investigación planteadas, obteniendo los estudios primarios para el mapping.
4. Extracción de datos – Definición de un esquema de clasificación de la información mediante palabras clave a identificar en los artículos.
5. Análisis y clasificación – Clasificación utilizando herramientas semiautomáticas y análisis de los resultados obtenidos.
6. Rigor y relevancia – Se aplicó el método propuesto por Ivarsson and Gorschek
7. Validación [26] para evaluar la relevancia de los estudios realizados de cara a su aplicación en contextos reales.
8. Mapping – Cruce de las variables identificadas para responder las preguntas de investigación planteadas.

Finalmente se aplicaron *métodos empíricos para ingeniería de software* que combinan estrategias de investigación cualitativa y cuantitativa, utilizando puntualmente encuestas (artefactos de evaluación) y casos de estudio para evaluar el marco metodológico y la línea de producto software propuesta para incorporar accesibilidad y usabilidad en REA en un contexto real y en un tiempo específico. De esta forma, se ha conseguido validar las dos tareas requeridas en el trabajo de tesis, proponer mejoras de accesibilidad y usabilidad o diseñar un nuevo una plataforma REA considerando estas características. En el Anexo A se describen brevemente los aspectos más relevantes de éste tipo de métodos y su aplicación en el presente trabajo.

1.5 Estructura de la tesis

La memoria del trabajo realizado en la tesis doctoral, se encuentra estructurada en 7 capítulos, que son:

- Capítulo I introduce al lector a la situación que motivó el desarrollo del trabajo, el problema identificado, los objetivos propuestos, los resultados obtenidos, la metodología de investigación y la estructura de la memoria.
- Capítulo II proporciona un marco conceptual tanto del dominio de aplicación del trabajo, que son los Recursos Educativos Abiertos (REA) y las características que se propone mejorar, que son la accesibilidad y usabilidad de software en plataformas web; como de las arquitecturas y líneas de producto software.

- Capítulo III documenta el estudio del estado actual referente a las arquitecturas y líneas de producto software (SPL) para REA utilizando un mapeo sistemático en la bibliografía. El capítulo detalla las respuestas encontradas a las preguntas de investigación planteadas y el análisis de los resultados obtenidos.
- Capítulo IV define el marco propuesto por la tesis en la que detalla la metodología propuesta, tanto para la evaluación de la accesibilidad y usabilidad productos existentes, como para la creación de plataformas REA sensibles a la accesibilidad y usabilidad mediante el uso de líneas de producto software. De esta forma, el marco propuesto se propone como un recomendador de la mejora de la accesibilidad y usabilidad, tanto de plataformas REA existentes o nuevas.
- Capítulo V define cómo incorporar la accesibilidad y funcionalidad en las líneas de producto software mediante modelos de variabilidad ortogonales (OVM). Además, este capítulo presenta la línea de producto software definida en base a las características y componentes funcionales, no funcionales de accesibilidad y usabilidad mediante un modelado de variabilidad ortogonal (OVM), la arquitectura propuesta y la trazabilidad entre los OVM y la arquitectura.
- Capítulo VI documenta la validación del marco de referencia propuesto desde dos perspectivas de la metodología definida: (i) para la evaluación de sitios REA disponibles y su recomendación de mejora, y (ii) la creación de nuevos sitios REA utilizando la línea de producto software propuesta.
- Capítulo VII se enuncian las principales conclusiones del trabajo realizado, aportes de la tesis y la perspectiva de trabajos futuros.

Capítulo 2: Background

Para cumplir los objetivos propuestos en esta tesis doctoral se inició con una revisión del marco conceptual asociado que se fue completando a lo largo de su desarrollo. Es así, que este capítulo contiene la base conceptual que fundamenta y contextualiza la investigación desarrollada en esta tesis doctoral; incluye definiciones y el entorno más próximo al que se desarrolla la tesis, iniciando por el dominio de aplicación como lo son los Recursos Educativos Abiertos (REA) y los sistemas o plataformas REA que los materializan, las características que se desean mejorar como son accesibilidad y usabilidad, así como las formas de medición disponibles; finalmente, se presenta el enfoque de ingeniería del software que se propone aplicar para mejorarla como son las líneas de producto software, sus modelos de variabilidad y arquitecturas software.

2.1 Recursos Educativos Abiertos (REA), Open CourseWare (OCW) y Massive Open Online Courses (MOOC)

La evolución de la tecnología ha permitido el avance de muchos campos de la ciencia y la humanidad, uno de los más relevantes es sin duda la educación, a través del aprendizaje mediado por tecnología, e-Learning, actualmente presente en casi todos los centros de educación superior. Uno de los componentes más relevantes en el e-Learning es el contenido dado que constituye el medio y el fin de la interacción de los actores del proceso de enseñanza / aprendizaje, aprendiz e instructor.

Para comprender el estado actual de los contenidos educativos en línea, es preciso conocer sus antecedentes entre los principales los objetos de aprendizaje (OA) cuyo concepto fue introducido por Wayne Hodgins en 1994 [5]. Estos recibieron la aceptación inmediata por parte de los educadores y diseñadores de instrucción, permitiendo el fácil re uso de contenido educativo en un amplio rango de contextos de enseñanza y aprendizaje [27]. El comité de estandarización de tecnologías para el aprendizaje de IEEE - Learning Technology Standards Committee (LTSC) [28] fue el primer grupo que utilizó el término objeto de aprendizaje y lo definió como *«un recurso que puede aportar a compartir y reutilizar contenidos en entornos de enseñanza aprendizaje TLE– teaching and learning environments»*.

Otra definición de OA proporcionada en el estándar de metadatos para objetos de aprendizaje – Learning Object Metadata (LOM) de LTSC IEEE, define los OA como *«entidad digital o no digital, que puede ser usado, reusado o referenciado durante el aprendizaje apoyado por tecnología»* [29].

Los objetos de aprendizaje (OA) permiten y facilitan el uso de contenidos educativos en línea. Por otro lado. las especificaciones y estándares internacionalmente aceptados los hacen interoperables y reutilizables por diferentes aplicaciones y en diversos entornos de aprendizaje. Además, los metadatos que los describen facilitan la búsqueda y los hacen accesibles [30]. Los OA se consideran una unidad de ensamblaje de contenido en los entornos de enseñanza aprendizaje más grandes, contruidos a partir de unidades más pequeñas. De hecho, los OA pueden apoyar un enfoque arquitectónico para el desarrollo de los entornos de enseñanza aprendizaje Hylen [31].

La evolución de los objetos de aprendizaje (OA) son los REA[32]. El término Recursos Educativos Abiertos (REA) fue propuesto por el Foro de la UNESCO sobre el impacto de Open Courseware para la Educación Superior y el desarrollo de los países, en 2002, que los definió como la *«provisión abierta de contenidos educativos habilitada por las tecnologías de la información a los que se puede acceder, reutilizar, modificar y compartir libremente por una comunidad sin fines comerciales»*. [33]

Hylen en [34] define los REA como *«materiales digitales ofrecidos de forma libre y abierta para que educadores, estudiantes y autoaprendices los utilicen y reutilicen para la enseñanza, el aprendizaje y la investigación»*.

La Fundación Hewlett [35] define un REA como *«Recursos de enseñanza, aprendizaje e investigación que residen en el dominio público o que han sido liberados bajo una licencia de propiedad intelectual que permite su uso libre y la reutilización por parte de otros»*.

Mientras que la Organización para la cooperación económica y el desarrollo (OECD) acrónimo de Organization For Economic Cooperation and Development, los define como *«Materiales digitalizados ofrecidos de forma libre y abierta para que los educadores, estudiantes y autodidactas puedan usarlos y reutilizarlos para enseñar, aprender e investigar»* [36].

La implementación de REA se puede ver en muchos países del mundo con iniciativas de universidades alrededor del mundo Australia, Brazil, Canada, Hungary, India, Iran, Ireland [37] .

La Figura 1 proporciona una representación de los componentes de un REA propuesta por Camilleri [33] uno de los componentes es el contenido donde se puede observar la relación de los REA, OA, OCW y MOOCs.

Figura 1: Adaptación clasificación de REA (Adaptado de Camilleri [33])

Un tipo de contenido REA, según la clasificación de Camilleri en [33] la Figura 1, son los *Courseware*, que no son más que la aplicación del concepto de REA para cursos en Instituciones de Educación Superior (IES). Estos cursos integran la planificación, los materiales recursos multimedia texto, gráficos, animación, audio y video, y en algunos casos, la evaluación de validación para que sean avalados por una IES.

El famoso Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), por sus siglas en inglés) lanzó un programa de software de curso abierto al mundo desde principios de 2002, para publicar su información curricular completa sin coste a través de Internet, *Open*

CourseWare (OCW), y rápidamente se convirtió en un modelo para la educación global, denominado MIT OCW [38] esta iniciativa tiene publicados 2400 cursos con más de 300 mil visitas registradas a 2019. Según afirma Dick K.P. Yue, profesor Escuela de Ingeniería MIT: «*La idea es simple: publicar todos los materiales de nuestros cursos en línea y ponerlos a disposición de todos*». Si bien la iniciativa del MIT es la más representativa, otras iniciativas están disponibles alrededor del mundo, entre ellas: China Open Resource for Education [39], OCW Japanese Alliance [40], Paris OCW Project [41], OpenLearn [42].

El *Open Education Consortium* define un *Open CourseWare* (OCW) como «*una publicación digital gratuita y abierta de materiales educativos de nivel universitario y universitario de alta calidad. Estos materiales se organizan como cursos y, a menudo, incluyen materiales de planificación de cursos y herramientas de evaluación, así como contenido temático*» [43].

Los sistemas de OCW a menudo se basan en un conjunto de componentes, que abordan las diferentes necesidades de almacenamiento y funcionalidad. Un referente de su arquitectura es el estándar de tecnología de aprendizaje – Learning Technology Standard Architecture (LTSA) –, el cual proporciona un marco arquitectónico genérico para este tipo de sistemas [44].

Finalmente, otro tipo de REA en la clasificación de REA de [33] que se mostró en la Figura 1 son los cursos masivos en línea abiertos – Massive Online Open Courses (MOOC). Uvalić-Trumbić [45] afirma que para dar sentido a los MOOC y comprender la evolución del aprendizaje en línea en la educación superior, debemos remontarnos a los tiempos anteriores a la invención de Internet, dado que ha sido este medio el que ha permitido la creación y difusión de contenidos abiertos.

El inicio de los MOOC se atribuye en el 2008, cuando George Siemens y Stephen Downes de la Universidad de Manitoba (Canadá) organizaron un curso llamado "Conectivismo y Conocimiento Conectivo - Conectivismo y Aprendizaje Conectivo", que incorporó estrategias de aprendizaje abierto basadas en conectivismo, nuevos enfoques para la interacción y redes sociales. El curso duró 12 meses y registró la participación de unos 2,300 estudiantes [18]. Según Siemens [46], los MOOC son una continuación de la tendencia en innovación, experimentación y uso de la tecnología iniciada por el aprendizaje a distancia y en línea, para brindar oportunidades de aprendizaje a un gran número de estudiantes.

El término MOOC fue introducido por un pequeño grupo de personas que creían que esto podía irrumpir en el modelo de negocios de la educación superior. Se han implementado diferentes enfoques [47]. Algunas iniciativas se originaron a partir de los experimentos iniciales, como Udacity [48], Coursera [49] y Edx [50]. Sin embargo, el uso de MOOC a gran escala solo comienza en 2011. En [51] se referencian dos enfoques, uno que se basa en la teoría del conectivismo (cMOOC) como modelo educativo, otro se basa en el aprendizaje tradicional con entrega en línea (xMOOC).

Los cursos abiertos en línea, a veces llamados "masivos" (MOOC), debido a sus altos números de inscripción [52], ofrecen un punto medio para la enseñanza y el aprendizaje entre el entorno de clase altamente organizado y estructurado y la caótica red abierta de

información fragmentada. En un aula tradicional o en un curso en línea, los diseñadores de aprendizaje y los educadores estructuran las lecturas, los recursos de aprendizaje, las conferencias y las actividades de los alumnos. Como resultado, el aprendizaje se dirige hacia objetivos y resultados claramente articulados. El educador proporciona forma y dirección a la experiencia de aprendizaje formando grupos y proporcionando evaluaciones, enfoques de asignación o directrices [53].

McGreal et al. [53] definen los MOOCs, como:

- *Masivo* - involucrando a cientos y miles de estudiantes. La escala de "masiva" es algo relativa, ha evolucionado con el tiempo ya que los primeros MOOC tenían un rango de 2,000 estudiantes, pero en algunas de las ofertas de Coursera y Udacity han superado los 100,000 inscritos.
- *Abierto*, en términos de acceso. Los MOOC, en particular los ofrecidos por firmas con fines de lucro como Coursera, no tienen necesariamente una licencia abierta, pero los estudiantes pueden acceder al contenido del curso y participar en conferencias invitadas sin costo alguno.
- *En línea*, exclusivamente. En algunos casos, los alumnos organizan reuniones físicas, pero la mayor parte de la actividad de aprendizaje (contenido e interacciones) se realiza en línea.
- *Curso*. Los MOOC tienen un tiempo de inicio y finalización establecido. Incluso si los archivos MOOC están disponibles después del curso, las interacciones sociales en foros y blogs se producen únicamente durante los tiempos establecidos de la oferta del curso. Si bien hay algunas áreas de superposición y uso de los recursos de incluso cuando se utilizan múltiples fuentes de contenido de aprendizaje [18].

No existe una definición formal de MOOC y no podría considerarse estandarizado, lo que es innegable es que en pocos años ha proliferado y diversificado el campo de los contenidos educativos en internet, al promover la comercialización de cursos a través de ciertas plataformas, lo que ha dado lugar a que algunos autores planteen diferentes perspectivas respecto a que los MOOC sean considerados REA. Rohs y Ganz [54] consideran que los MOOC no son REA dado que no cumplen el principal aspecto de ser materiales abiertos, al igual que consideran Yuan y Powell [55], los cuales afirman que los MOOC han ido perdiendo la característica de abiertos. Por otro lado, Schuwer et. al en [56] afirman que los MOOC y los REA tienen diferentes niveles de apertura; mientras que Camilleri [33] considera que los MOOC son un tipo de contenido REA y la Commonwealth [53] manifiesta que los MOOC son un medio para facilitar la creación, distribución y uso eficientes del conocimiento y la información para el aprendizaje aprovechando los recursos en línea disponibles gratuitamente, como los REA.

Si bien el término REA se asocia generalmente con el contenido de los cursos OCW o MOOC, el dominio de aplicación de esta tesis doctoral no está directamente relacionado con los cursos en sí, más bien se centra en las plataformas que gestionan este tipo de recursos como un sistema software al que es posible incorporar atributos de calidad como lo son la accesibilidad y usabilidad que influirán directamente en el acceso y uso de los REA que en este tipo de plataforma se gestionen.

2.2 Sistemas software / plataformas para REA

Cherkaoui [57] manifiesta respecto a las tecnologías utilizadas en el aprendizaje en línea (plataformas de gestión del aprendizaje LMS como Moodle [58] o Canvas[59]), que estas se enfrentan al problema de una tasa de abandono de un gran número de estudiantes [60]. Atribuye como causa el hecho de que estos sistemas no necesariamente tienen en cuenta algunos aspectos fundamentales de la adaptación, como los requisitos previos, las preferencias de los alumnos y sus propios estilos y ritmos de aprendizaje. También se debe al aislamiento de los alumnos, a las dificultades para contratar a un número suficiente de tutores dentro de los MOOC, debido a su dimensión masiva. Por lo tanto, el estudiante emerge en un vasto espacio de recursos, actividades e interacciones con diferentes partes interesadas (maestros, tutores, compañeros, etc.), que es muy relevante para los aprendices y para satisfacer sus necesidades específicas.

El mismo autor Cherkaoui [57] afirma para el caso de plataformas LMS (o sistemas de gestión de aprendizaje) que su situación es bastante diferente a las de los REA, dado que su objetivo es administrar el aprendizaje para pequeños grupos de aprendices al tiempo que integran herramientas colaborativas síncronas y asíncronas. El contenido utilizado generalmente tiene los recursos y actividades de aprendizaje tales como tareas, wiki, chat, foros, etc. Estos recursos son seleccionados por un profesor o tutor para un pequeño grupo de estudiantes, a menudo la secuencia de contenido es compatible con estándares de aprendizaje electrónico como IMS-LD y SCORM.

Para el caso de OCW Atkins en [61] afirma que *«este movimiento comenzó con instituciones acreditadas que proporcionan materiales, asegurando así su calidad. Liderar con MIT fue clave para su éxito y sostenibilidad. El suministro de materiales de alta calidad de instituciones de alta calidad seguirá siendo importante, sin embargo, detectan como un gran desafío el uso de material educativo abierto para que podamos crear ciclos de aprendizaje virtuosos que mejoren constantemente el material a través del uso es un punto que recién ha comenzado, y se identifica la necesidad de diseñar las plataformas de la próxima generación para cerrar el ciclo y acelerar la mejora del material a través del uso reflejado»*.

Las plataformas de MOOC no son muy diferentes de los sistemas de gestión de aprendizaje para cursos en línea, ya que ofrecen elementos muy similares como son el programa del curso, un calendario académico, los materiales del curso, pruebas y exámenes y medios interactivos, como un foro de discusión. Además, las plataformas MOOC ofrecen la posibilidad de certificación para los estudiantes que completan un curso con éxito mediante el examen [62].

Cruz-Benito en [63] afirma que estos nuevos tipos de plataformas de aprendizaje y paradigmas por ejemplo en los MOOC se expanden los límites tradicionales en la interacción de los estudiantes con los maestros, los contenidos y las plataformas de aprendizaje en línea. Adicionalmente, los MOOC aprovechan otras plataformas (incluso aquellas que no están destinadas exclusivamente a la educación) como las redes sociales y otras herramientas en línea, aplicando de esta manera los enfoques multiplataforma y multicontexto que pueden mejorar y mejorar la experiencia de aprendizaje.

2.3 Accesibilidad y Usabilidad de software

La Accesibilidad y Usabilidad son atributos de calidad deseables para la mayoría de sistemas que incluyen software, estos atributos tienen mayor énfasis en las aplicaciones web como lo son los sistemas y plataformas REA, dado que son sistemas enfocados en la enseñanza aprendizaje, y, por tanto, de alta interacción humano computador. La norma de ergonomía de la interacción humano-sistema ISO 9241 cubre los problemas asociados con el diseño de software accesible para personas con la gama más amplia de capacidades físicas, sensoriales y cognitivas, incluidas las personas con discapacidad temporal y las personas mayores. Aborda también las consideraciones de software para la accesibilidad que complementan el diseño general para la usabilidad. Es así que el estándar ISO 9241 parte 11: Usabilidad: Definiciones y conceptos, ISO 9241-11: 2018 [64], define la **Usabilidad** como:

«La medida en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico»

El mismo estándar define:

- Efectividad como *«la precisión e integridad con la que los usuarios logran objetivos específicos»*.
- Eficiencia como los Recursos utilizados en relación con los resultados obtenidos. En su Nota 1 menciona que *«los recursos típicos incluyen tiempo, esfuerzo humano, costos y materiales»*.
- Satisfacción como *«la medida en que las respuestas físicas, cognitivas y emocionales del usuario que resultan del uso de un sistema, producto o servicio cumplen con las necesidades y expectativas del usuario»*.

Por otro lado el mismo estándar 9241 en su parte 171: Guía sobre la accesibilidad de software, ISO 9241-171: 2008 [65], define la **Accesibilidad** como:

«La usabilidad de un producto, servicio, entorno o instalación por personas con la más amplia gama de capacidades» con dos anotaciones:

- Nota 1: *«el concepto de accesibilidad abarca toda la gama de capacidades del usuario y no se limita a los usuarios que están formalmente reconocidos como discapacitados»*.
- Nota 2: *«El concepto de accesibilidad orientado a la usabilidad apunta a lograr niveles de efectividad, eficiencia y satisfacción que sean lo más altos posible considerando el contexto de uso especificado, al tiempo que se presta especial atención a la gama completa de capacidades dentro de la población de usuarios»*.

Complementando estas definiciones se toma como referencia otro estándar ampliamente utilizado referenciando en cuanto a atributos de calidad de software es ISO / IEC 25010:2011(en) Ingeniería de sistemas y software - Requerimientos de calidad y evaluación de sistemas y software (SquaRE) [66], el cual incluye la accesibilidad y usabilidad como características en el modelo de calidad del **producto** software. Dicho estándar define la **usabilidad** como:

«El grado en que un producto o sistema puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto específico de uso».

- Nota 1: Adaptado de ISO 9241-210.

- Nota 2: *«La usabilidad puede especificarse o medirse como una característica de calidad del producto en términos de sus características secundarias, o especificarse o medirse directamente mediante medidas que son un subconjunto de la calidad en uso».*

Y define la **accesibilidad** como:

«El grado en que un producto o sistema puede ser utilizado por personas con la más amplia gama de características y capacidades para lograr un objetivo específico en un contexto de uso específico».

- Nota 1: *«El rango de capacidades incluye discapacidades asociadas con la edad».*

- Nota 2: *«la accesibilidad para personas con discapacidades puede especificarse medirse ya sea en la medida en que los usuarios con discapacidades específicas pueden utilizar un producto o sistema para lograr objetivos específicos con efectividad, eficiencia, libertad de riesgo y satisfacción en un área específica. contexto de uso, o por la presencia de propiedades del producto que apoyan la accesibilidad».*

Por lo tanto, la accesibilidad está fuertemente relacionada con el concepto de usabilidad interpretando las afirmaciones ISO 9241-11 la accesibilidad aporta a la usabilidad, por lado de la norma ISO 25010 se considerarían complementarias para alcanzar la calidad de un producto software en términos de usabilidad.

Si bien algunas de las orientaciones proporcionadas las definiciones de las normas ISO mencionadas también son importantes para la accesibilidad de las interfaces de usuario web, no cubren la accesibilidad en su totalidad. La guía común para asegurar y mejorar la accesibilidad a los equipos, software y servicios de TIC (tecnología de la información y la comunicación) se puede encontrar en ISO 9241-20, y la guía detallada sobre la accesibilidad de las interfaces de usuario de software en general se puede encontrar en la norma ISO 9241-171. Mientras que la Iniciativa de Accesibilidad Web (WAI) [67] de la World Wide Web Consortium (W3C) [68] proporciona orientación específica con algunas normas, directrices y técnicas en diferentes versiones, para hacer accesibles los componentes de un sitio web, entre ellas:

- Guías de Accesibilidad para contenidos (WCAG) de sus iniciales en inglés Web Content Accessibility Guidelines, la última versión es la 2.1 [69].

- Guías de Accesibilidad para Herramientas (ATAG) de sus iniciales en inglés Authoring Tool Accessibility Guidelines, a la fecha disponible la versión en revisión 2.0 [70].

- Guías de Accesibilidad para Agentes (UAAG) de sus iniciales en inglés User Agent Accessibility Guidelines, disponible en versión 2.0 [71].

2.4 Medición de Accesibilidad

Para obtener una valoración cuantitativa (medición) de la accesibilidad web están disponibles algunos métodos, estándares y guías internacionales. Los métodos incluyen la revisión de estándares, pruebas de usuario, evaluaciones subjetivas y revisión de barreras; sin embargo, los métodos de evaluación de la accesibilidad (AEM) pueden diferir en cuanto a su eficacia, la eficiencia y la utilidad, como se insinuó en [72].

En cuanto a los estándares y normas, las más representativas y referenciadas internacionalmente son las guías de Accesibilidad de contenido WCAG. Sus versiones 2.0 [73] y 2.1 [69] proporcionan elementos concretos para medición de la accesibilidad en aplicaciones web. En esta tesis se profundiza en las WCAG 2.0, dado que estas guías han sido adoptadas por la organización internacional de estandarización ISO/IEC 40500:2012(en) [74]. La guía WCAG 2.0 proporciona los siguientes niveles de orientación:

- Principios - En el nivel más alto se sitúan los cuatro principios que proporcionan los fundamentos de la accesibilidad web: perceptible, operable, comprensible y robusto.
- Pautas - Por debajo de los principios están las pautas. Las doce pautas proporcionan los objetivos básicos que los autores deben lograr con el fin de crear un contenido más accesible para los usuarios con distinta discapacidad. Estas pautas no son verificables, pero proporcionan el marco y los objetivos generales que ayudan a los autores a comprender los criterios de conformidad y a implementar mejor las técnicas.
- Criterios de Conformidad - Para cada pauta se proporcionan los criterios de conformidad verificables que permiten emplear las WCAG 2.0 en aquellas situaciones en las que existan requisitos y necesidad de evaluación de conformidad como: especificaciones de diseño, compras, regulación o acuerdos contractuales en los tres niveles de conformidad: A (el más bajo), AA y AAA (el más alto)

En esta tesis se ha realizado una síntesis de los principios, pautas y criterios asociados por cada nivel de accesibilidad según la WCAG2.0. Esta síntesis se muestra en la Tabla 2, donde se han descrito cada uno de los criterios y principios junto con su nivel de accesibilidad. De igual forma, esta tabla se ha adaptado en formato formulario para ser utilizada como un artefacto para medir manualmente el nivel de accesibilidad de cualquier sitio web (ver Capítulo 4).

Tabla 2: Principios, pautas y criterios WCAG 2.0 por nivel de accesibilidad

Principio	Pauta	Criterios	Descripción
Nivel A			
PERCEPTIBLE La Información y componentes de interfaz de usuario deben estar presentables a los usuarios de manera que puedan percibir.	1.1.1	Contenido no textual	Imágenes dentro del contenido.
	1.2.1	Sólo audio y sólo vídeo (pregrabado).	Contenidos multimedia que consisten en audio o vídeo.
	1.2.2	Subtítulos (pregrabados)	Subtítulos para todo audio presente en el contenido.
	1.2.3	Audio descripción o alternativa multimedia (pregrabada)	Una alternativa para contenido, en forma multimedia.
	1.3.1.	Información y relaciones	Elementos de contenido con información estructural.
	1.3.2.	Secuencia significativa	El orden de navegación y lectura (determinado por el orden en el código fuente) será lógico e intuitivo
	1.3.3.	Características sensoriales	Características sensoriales tales como forma, tamaño, ubicación visual, orientación o sonido.
	1.4.1.	Empleo de Color	Cada color debe tener un significado definido.
	1.4.2.	Control de audio	El usuario debe tener la facilidad de desactivar el sonido de fondo.
OPERABLE Los componentes de interfaz de usuario y la navegación deben ser operables	2.1.1.	Teclado	Toda la funcionalidad del contenido debe ser operable a través de una interfaz de teclado.
	2.1.2.	Sin trampas para el foco del teclado	Asegura que la función del teclado es capaz de salir del contenido cuando llegue al fin de su navegación.
	2.2.1.	Límite de tiempo ajustable	Límite de tiempo que se establece en el contenido.
	2.2.2.	Pausar, detener, ocultar	Información que se mueva, parpadee, se desplace o se actualice automáticamente.
	2.3.1.	Tres destellos o por debajo	Las páginas web no contienen destellos más de tres veces

		del umbral	
	2.4.1.	Saltar bloques	Existe un mecanismo que permite saltar bloques de contenido que se repiten en múltiples páginas web.
	2.4.2.	Página titulada	Las páginas web tienen títulos que describen su tema o propósito.
	2.4.3.	Orden de foco	Si una página web puede navegarse secuencialmente y la secuencia de navegación afecta a su significado u operatividad.
	2.4.4.	Propósito de un vínculo	El propósito de cada vínculo puede determinarse con el texto del vínculo descontextualizado.
COMPRENSIBLE Información y el funcionamiento de la interfaz de usuario deben ser comprensibles.	3.1.1.	Idioma de la página	El idioma por defecto de cada página web puede ser programablemente determinado.
	3.2.1.	Con foco	No se pasará a la siguiente página de formulario cuando se pulse el botón “enviar”.
	3.2.2.	Con entrada de datos	Un formulario que ocasione un cambio de contexto a menos que el usuario haya sido advertido del comportamiento antes de emplear el componente.
	3.3.1.	Identificación de errores	Si se detecta automáticamente un error de entrada de datos, se identifica el ítem erróneo y el error se describe al usuario por medio de texto.
	3.3.2.	Instrucciones o etiquetas	Se proporcionan etiquetas o instrucciones cuando el contenido requiere entrada de datos por parte del usuario.
ROBUSTO El contenido debe ser lo suficientemente robusto que se puede interpretar de forma fiable por una amplia variedad de aplicaciones de usuario	4.1.1.	Interpretación	Para contenido que se haya implementado empleando un lenguaje de marcado, los elementos cuentan con etiquetas completas de cierre y apertura, se han anidado correctamente, no contienen atributos duplicados.
	4.1.2.	Nombre, rol, valor	Para todo componente de interfaz de usuario (elementos de formulario, vínculos y componentes generados por medio de scripts), el nombre y el rol pueden ser determinados; los estados, propiedades y valores que pueden ser establecidos por el usuario.
Nivel AA			
PERCEPTIBLE	1.2.4.	Subtítulos	Se proporcionan subtítulos para todo

			contenido de audio.
	1.2.5.	Audio descripción	Se proporciona un audio descripción para todo contenido de vídeo del contenido multimedia.
	1.4.3.	Contraste	La presentación visual del texto y las imágenes de texto tienen una relación de contraste.
	1.4.4.	Variar el tamaño de texto	Excepto para subtítulos e imágenes de texto, se puede variar el tamaño del texto.
	1.4.5.	Imágenes de texto	Se utiliza texto para transmitir la información en vez de imágenes.
OPERABLE	2.4.5.	Múltiples medios	Existe más de un medio para localizar una página web dentro de una colección de páginas web.
	2.4.6.	Encabezados y etiquetas	Los encabezados y las etiquetas describen el tema o propósito pertinente.
	2.4.7.	Foco visible	Cualquier interfaz de usuario que sea operable a través de teclado cuenta con un indicador visible del foco de teclado.
COMPRENSIBLE	3.1.2.	Idioma de partes	El idioma de cada pasaje o frase del contenido puede ser determinado excepto en el caso de nombres propios.
	3.2.3.	Navegación consistente	Si se detecta automáticamente un error de entrada de datos y se pueden determinar las sugerencias apropiadas para la corrección.
	3.2.4.	Identificación consistente	Los componentes que tienen la misma funcionalidad dentro de un conjunto de páginas web son identificados de manera coherente.
	3.3.3.	Sugerencia tras error	Si se detecta automáticamente un error de entrada de datos y se pueden determinar las sugerencias apropiadas para la corrección.
	3.3.4.	Prevención de errores (legales, financieros, de datos)	Se comprueba si los datos contienen errores y se proporciona la posibilidad de corregirlos o se pide confirmación.
Nivel AAA			
PERCEPTIBLE	1.2.6.	Lengua de signos (Pregrabada)	Se ofrece un vídeo en lengua de signos para todo el contenido "media" que contenga audio.

	1.2.7	Audio descripción extendida	Versión alternativa del vídeo con pausas que permitan las descripciones de audio.
	1.2.8.	Alternativa multimedia (pregrabado)	Se ofrece una transcripción descriptiva para todos los medios pregrabados que contengan una pista de vídeo.
	1.2.9.	Solo audio	Se ofrece una transcripción descriptiva para todos los contenidos en directo que contengan audio.
	1.4.6.	Contraste (mejorado)	La presentación visual del texto y de las imágenes de texto mantiene una relación de contraste.
	1.4.7.	Fondo de audio bajo o inexistente	Existe un ruido de fondo muy bajo que permita distinguir fácilmente las conversaciones.
	1.4.8.	Presentación visual	Contenido visualmente entendible.
	1.4.9.	Imágenes de texto (sin excepción)	Las imágenes de texto sólo se emplean como pura decoración o donde una presentación en particular del texto es esencial para la información que se transmite.
OPERABLE	2.1.3.	Teclado (sin excepción)	Toda la funcionalidad del contenido se puede operar a través de una interfaz de teclado.
	2.2.3.	Sin tiempo	El contenido y funcionalidad no tendrá limitaciones de tiempo excepto para el contenido multimedia.
	2.2.4.	Interrupciones	Las interrupciones (alertas, actualizaciones de las páginas, etc.) deberán poder ser pospuestas o canceladas por el usuario.
	2.2.5.	Re-autenticación	Si la autenticación en una sesión termina (expira), el usuario podrá re-autenticarse y continuar con su actividad sin perder ningún dato de la página actual.
	2.3.2.	Tres destellos	No deberá crear contenidos que destellen más de tres veces por segundo
	2.4.8.	Ubicación	Se proporciona al usuario información de orientación sobre su ubicación dentro de una colección de páginas web (por ejemplo, "Paso 2 de 5).
	2.4.9.	Propósito de un vínculo (vínculo solo)	No deberán existir enlaces con el mismo texto que vinculen a lugares diferentes

	2.4.10.	Encabezados de sección	Se emplean encabezados de sección para organizar el contenido.
COMPREENSIBLE	3.1.3.	Palabras inusuales	Las palabras desconocidas, deberán definirse través de un texto adyacente, una lista de definiciones, un glosario.
	3.1.4.	Abreviaturas	La explicación para las abreviaturas se realiza usando un glosario de términos.
	3.1.5.	Nivel de lectura	Contenidos comprensibles
	3.1.6.	Pronunciación	Si la pronunciación de una palabra es vital para comprenderla, su pronunciación se mostrará seguida de dicha palabra o mediante un enlace a un glosario.
	3.2.5	Cambio a petición	Aparición de ventanas emergentes, deberá ofrecer al usuario una opción para desactivar dichos cambios.
	3.3.5.	Ayuda	Se proporciona ayuda contextual
	3.3.6.	Prevención de errores (todo error)	El envío de información debe poder ser reversible, verificado o confirmado.

Las Pautas WCAG 2.0 contienen además una serie de puntos de verificación que ayudan a detectar posibles errores; cada punto de verificación está asignado a uno de los tres niveles de prioridad establecidos por las pautas:

- Prioridad 1: son aquellos puntos que un desarrollador Web tiene que cumplir ya que, de otra manera, ciertos grupos de usuarios no podrían acceder a la información del sitio Web.
- Prioridad 2: son aquellos puntos que un desarrollador Web debería cumplir ya que, si no fuese así, sería muy difícil acceder a la información para ciertos grupos de usuarios.
- Prioridad 3: son aquellos puntos que un desarrollador Web debería cumplir ya que, de otra forma, algunos usuarios experimentarían ciertas dificultades para acceder a la información.

En función a estos puntos de verificación se establecen los niveles de conformidad

- Nivel de Conformidad "A": todos los puntos de verificación de prioridad 1 se satisfacen.
- Nivel de Conformidad "Doble A": todos los puntos de verificación de prioridad 1 y 2 se satisfacen.
- Nivel de Conformidad "Triple A": todos los puntos de verificación de prioridad 1,2 y 3 se satisfacen.

WCAG 2.0 (W3C, 2008) cubre una amplia gama de recomendaciones para hacer el contenido Web más accesible para personas con discapacidad, incluyendo la ceguera y la baja visión, sordera y pérdida de la audición, problemas de aprendizaje, limitaciones cognitivas, movimiento limitado, problemas del habla, foto sensibilidad y combinaciones de estos; estas directrices también hacen el contenido Web más útil para los usuarios en general.

Para la evaluación de la accesibilidad, la WAI proporciona además otros recursos que aportan en la medición de la accesibilidad. Por lo tanto, para esta tesis se han seleccionado los aplicables al contexto de investigación, así como la fecha de su última actualización. Estos son los que se especifican a continuación:

- WCAG-EM Guías de accesibilidad de contenido Metodología de Evaluación [75]: proporciona orientación sobre la evaluación de lo bien que sitios web se ajustan a la Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. En él se describe un procedimiento para evaluar sitios web e incluye consideraciones para guiar evaluadores y un conjunto de buenas prácticas.
- Lista de Herramientas de Evaluación de Accesibilidad [76] (actualizado 2019) que incluye a la fecha de consulta 128 herramientas de evaluación automática de la accesibilidad.

Complementando los niveles de accesibilidad proporcionados por la W3C, Hilera et al. [77] propone una escala de cuatro niveles de accesibilidad para el porcentaje obtenido del cumplimiento de los criterios de accesibilidad WCAG. Esta escala se resume en la Tabla 3.

Tabla 3: Escala de medición de la accesibilidad (Adaptado de [39])

Nivel	Porcentaje	Descripción
Alto	70 -100	El cumplimiento de los criterios de accesibilidad es alto o notable, presentará mínimas limitaciones de acceso a los contenidos y funcionalidades del sitio web.
Moderado	50 – 70	El cumplimiento de los criterios de accesibilidad es moderado o aceptable, presentará pocas limitaciones de acceso a los contenidos y funcionalidades del sitio web.
Deficiente	25 – 50	El cumplimiento de los criterios de accesibilidad es bajo o deficiente, presentan dificultades y barreras de acceso al contenidos o funcionalidad del sitio web para las personas.
Muy deficiente	Menos de 25	El cumplimiento de los criterios de accesibilidad es muy deficiente. Será difícil acceder al contenido y funcionalidades del sitio web.

Para evaluación automática de la accesibilidad se ha profundizado en dos de las herramientas disponibles en el listado de herramientas para evaluar las guías de accesibilidad de la W3C [76]: Test de Accesibilidad Web (TAW) y Web Accessibility Checker (Achecker). Se han elegido estas dos herramientas considerando su alto índice de referencias en la literatura, su tiempo de trayectoria y la calidad y cantidad del tipo de información que proporcionan como retroalimentación de posibles errores y recomendaciones de mejora. A continuación, TAW y Achecker se describen brevemente:

Test de Accesibilidad Web (TAW) [78]

Es una herramienta automática on-line para analizar la accesibilidad de sitios web. Esta herramienta fue creada teniendo como referencia técnica las pautas de accesibilidad al contenido web WCAG 2.0 del W3C, y cuenta con más de 15 años de uso, siendo la herramienta de referencia para este tipo de evaluación. TAW está disponible en Español, Inglés y portugués.

El objetivo de TAW es comprobar el nivel de accesibilidad alcanzado en el diseño y desarrollo de páginas web con el fin de permitir el acceso a todas las personas independientemente de sus características diferenciadoras. Está destinada tanto a usuarios sin experiencia, que quieren conocer el grado de accesibilidad de su sitio web, como para profesionales de campo como webmasters, desarrolladores, diseñadores de páginas web etc.

La escala de medición utilizada es la definida por las pautas de Accesibilidad para Contenido Web WCAG 2.0 de la W3C de la siguiente forma:

- WCAG 2.0 A. Cumple todos los puntos de verificación de prioridad 1.
- WCAG 2.0 AA. Cumple todos los puntos de verificación de prioridad 1 y 2.
- WCAG 2.0 AAA. Cumple todos los puntos de verificación de prioridad 1, 2 y 3.

Las comprobaciones que realiza TAW en el análisis se dividen en dos categorías:

- Automáticos. Problemas de accesibilidad que la herramienta detecta por si sola y que deben ser solucionados.
- Manuales. La herramienta señala la existencia de un posible problema que el evaluador/a debe confirmar o descartar.

Como ejemplo se realizó la evaluación de un sitio REA como lo es la iniciativa MIT OCW, los resultados obtenidos se muestran en el **Anexo B** con el propósito demostrar la aplicación de las herramientas en un contexto real.

Web Accessibility Checker (Achecker)

Achecker es un comprobador de accesibilidad web que se utiliza para evaluar el contenido HTML en busca de problemas de accesibilidad ingresando la ubicación de una página web, cargando un archivo html o pegando el código fuente HTML completo de una página web. Achecker está disponible en Inglés, Alemán e Italiano.

AChecker produce un informe de todos los problemas de accesibilidad para sus pautas seleccionadas incluye las guías de WCAG 2.0. **AChecker** identifica 3 tipos de problemas:

- Problemas conocidos: estos son problemas que se han identificado con certeza como barreras de accesibilidad. Debe modificar su página para solucionar estos problemas;
- Problemas probables: estos son problemas que se han identificado como barreras probables, pero requieren que un ser humano tome una decisión. Es probable que necesite modificar su página para solucionar estos problemas;

- Problemas potenciales: estos son problemas que AChecker no puede identificar y que requieren una decisión humana. Es posible que tenga que modificar su página para estos problemas, pero en muchos casos solo tendrá que confirmar que el problema descrito no está presente.

Igual que en el caso de TAW, en la tesis se aplicó AChecker para obtener un ejemplo de la retroalimentación que brinda la herramienta y así mejorar la retroalimentación de la evaluación que se define en esta tesis. Concretamente, AChecker se utilizó la evaluación de accesibilidad de la iniciativa MIT OCW los resultados se muestran en el **Anexo B**.

2.5 Medición de la Usabilidad

Para medición de la usabilidad según el estándar ISO / IEC 25010:2011 definición de usabilidad Nota 2 afirma que «*La usabilidad puede especificarse o medirse como una característica de calidad del producto en términos de sus características secundarias, o especificarse o medirse directamente mediante medidas que son un subconjunto de la calidad en uso*», es así que en esta investigación nos centramos en la usabilidad desde la perspectiva de una característica a incorporar en la construcción de software, no desde la experiencia de usuario, con la revisión bibliográfica se analizaron varias propuestas de medición para la usabilidad como la de Agarwal y Venkatesh en [79] describen un procedimiento de evaluación heurística para examinar la usabilidad de sitios web. El procedimiento se basa en un conjunto de pautas de usabilidad desarrolladas por Microsoft, que incluye categorías y subcategorías, otra propuesta de medición de usabilidad es la de Seffah y otros en [80] proponen el modelo QUIM que incluye 10 factores, que se descomponen en un total de 26 subfactores o criterios medibles que se descomponen en 127 métricas específicas esta orientado la medición de la calidad de uso; finalmente se analizó la propuesta de Suárez y otros en [81] se centra en la medición de la usabilidad de plataformas a través de un marco de referencia denominado Sirius, es uno de los marcos de evaluación de la Usabilidad más completos y explícitos disponibles a la fecha para evaluar la usabilidad en plataformas web.

Sirius se basa principalmente en la revisión de heurísticas por parte de expertos, que además de ser aplicable a cualquier tipo de sitio web, pondera el incumplimiento de los criterios evaluados dependiendo del tipo de sitio en revisión, agrupados en aspectos y criterios, el proceso de evaluación de usabilidad incluye principalmente tres fases de medición la primera evaluación de las guías para obtener los valores que permitan obtener la métrica de usabilidad en porcentaje y un listado de criterios de prioridad.

Sirius establece una única relación de elementos a evaluar denominados criterios (subheurísticas), agrupados en aspectos (heurísticas) que será utilizada por todos los expertos implicados en el proceso de evaluación. Con una única relación de elementos a evaluar se consigue unificar los criterios para llevar a cabo una evaluación de usabilidad de un sitio web. La Tabla 4 describe los 10 aspectos considerados por Sirius.

Tabla 4: Descripción de los Aspectos a evaluar Sirius

ASPECTOS	DESCRIPCIÓN
Aspectos generales (AG)	Elementos relacionados con los objetivos del sitio, el look & feel, coherencia y nivel de actualización de contenidos.
Identidad e Información (II)	Elementos relacionados con la identidad del sitio, la información proporcionada sobre el proveedor y la autoría de los contenidos
Estructura y Navegación (EN)	Elementos relacionados con la idoneidad de la arquitectura de la información y la navegación del sitio
Rotulado (RO)	Elementos relacionados con la significación, corrección y familiaridad del rotulado de los contenidos.
Layout de la página (LA)	Elementos relacionados con la distribución y el aspecto de los elementos de navegación e información en la interfaz.
Extensibilidad y facilidad en la interacción (EF)	Elementos relacionados con la adecuación y calidad de los contenidos textuales, iconos y controles de la interfaz.
Control y retroalimentación (CR)	Elementos relacionados con libertad del usuario en la navegación y la información proporcionada al mismo en el proceso de interacción con el sitio.
Elementos multimedia (EM)	Elementos relacionados con el grado de adecuación de los contenidos multimedia al sitio web
Búsqueda (BU)	Elementos relacionados con el buscador implementado en el sitio web.
Ayuda (AY)	Elementos relacionados con la ayuda ofrecida al usuario durante la navegación por el sitio.

Los aspectos enumerados se concretan en una serie de criterios evaluables a los que el revisor deberá asignarles un valor durante el proceso de evaluación. Los criterios para cada uno de los 83 aspectos son:

Aspectos generales AG:

- AG1: Objetivos del sitio web concretos y bien definidos
- AG2: Contenidos y servicios ofrecidos precisos y completos
- AG3: Estructura general del sitio web orientada al usuario
- AG4: Look & feel general se corresponde con los objetivos del sitio web
- AG5: Diseño general del sitio web reconocible
- AG6: Diseño general del sitio web coherente
- AG7: Se utiliza el idioma del usuario
- AG8: Se da soporte a otro/s idioma/s
- AG9: Traducción del sitio completa y correcta
- AG10: Sitio web actualizado periódicamente

Identidad e Información:

- II1: Identidad o logotipo significativo, identificable y suficientemente visible
- II2: Identidad del sitio en todas las páginas
- II3: Eslogan o tagline adecuados al objetivo del sitio
- II4: Información sobre sitio web, empresa

- II5: Existen mecanismos de contacto
- II6: Se ofrece información sobre la protección de datos de carácter personal o los derechos de autor de los contenidos del sitio web
- II7: Se ofrece información sobre el autor, fuentes y fechas de creación y revisión del documento en artículos, noticias, informes

Estructura y Navegación:

- EN1: Se ha evitado pantalla de bienvenida
- EN2: Estructura de organización y navegación adecuadas
- EN3: Organización de elementos consistente con las convenciones
- EN4: Control del número de elementos y de términos por elemento en los menús de navegación
- EN5: Equilibrio entre profundidad y anchura en el caso de estructura jerárquica
- EN6: Enlaces fácilmente reconocibles como tales
- EN7: La caracterización de los enlaces indica sus estados (visitados, activos)
- EN8: Se ha evitado la redundancia de enlaces
- EN9: Se ha evitado la existencia de enlaces rotos
- EN10: Se ha evitado que haya enlaces que lleven a la misma página que se está visualizando
- EN11: En las imágenes de enlace se indica el contenido al que se va a acceder
- EN12: Existe un enlace para volver al inicio en cada página
- EN13: Hay elementos de navegación que orienten al usuario acerca de donde está y cómo deshacer su navegación (migas, pestañas coloreadas)
- EN14: Existe mapa del sitio para acceder directamente a los contenidos sin navegar

Rotulado:

- RO1: Rótulos significativos
- RO2: Sistema de rotulado controlado y preciso
- RO3: Título de las páginas, correcto y planificado
- RO4: URL página principal correcta, clara y fácil de recordar
- RO5: URL de páginas internas claras
- RO6: URL de páginas internas permanentes

Diseño gráfico de la página:

- LA1: Se aprovechan las zonas de alta jerarquía informativa de la página para contenidos de mayor relevancia
- LA2: Se ha evitado la sobrecarga informativa
- LA3: Es una interfaz limpia, sin ruido visual
- LA4: Existen zonas en blanco entre los objetos informativos de la página para poder descansar la vista
- LA5: Uso correcto del espacio visual de la página
- LA6: Se utiliza correctamente la jerarquía visual para expresar las relaciones del tipo "parte de" entre los elementos de la página
- LA7: Se ha controlado la longitud de página
- LA8: La versión impresa de la página es correcta
- LA9: El texto de la página se lee sin dificultad
- LA10: Se ha evitado el texto parpadeante/deslizante

Comprensibilidad y facilidad en la interacción:

- EF1: Se emplea un lenguaje claro y conciso
- EF2: Lenguaje amigable, familiar y cercano
- EF3: Cada párrafo expresa una idea

- EF4: Uso consistente de los controles de la interfaz
- EF5: Metáforas visibles reconocibles y comprensibles (ej. iconos)
- EF6: Si se usan menús desplegables, orden coherente o alfabético
- EF7: Si el usuario tiene que rellenar un campo, las opciones disponibles se pueden seleccionar en vez de tener que escribirlas

Control y retroalimentación:

- CR1: El usuario tiene todo el control sobre la interfaz
- CR2: Se informa al usuario acerca de lo que está pasando
- CR3: Se informa al usuario de lo que ha pasado
- CR4: Existen sistemas de validación antes de que el usuario envíe información para tratar de evitar errores
- CR5: Cuando se produce un error, se informa de forma clara y no alarmista al usuario de lo ocurrido y de cómo solucionar el problema
- CR6: Se ha controlado el tiempo de respuesta
- CR7: Se ha evitado que las ventanas del sitio anulen o se superpongan a la del navegador
- CR8: Se ha evitado la proliferación de ventanas en la pantalla del usuario
- CR9: Se ha evitado la descarga por parte del usuario de plugins adicionales
- CR10: Si existen tareas de varios pasos, se indica al usuario en cual está y cuantos faltan para completar la tarea

Elementos multimedia:

- EM1: Fotografías bien recortadas
- EM2: Fotografías comprensibles
- EM3: Fotografías con correcta resolución
- EM4: El uso de imágenes o animaciones proporciona algún tipo de valor añadido
- EM5: Se ha evitado el uso de animaciones cíclicas
- EM6: El uso de sonido proporciona algún tipo de valor añadido

Búsqueda:

- BU1: Si es necesaria, se encuentra accesible desde todas las páginas del sitio
- BU2: Es fácilmente reconocible como tal
- BU3: Se encuentra fácilmente accesible
- BU4: La caja de texto es lo suficientemente ancha
- BU5: Sistema de búsqueda simple y claro
- BU6: Permite la búsqueda avanzada
- BU7: Muestra los resultados de la búsqueda de forma comprensible para el usuario
- BU8: Asiste al usuario en caso de no poder ofrecer resultados para una consultada dada

Ayuda:

- AY1: El enlace a la sección de Ayuda está colocado en una zona visible y estándar
- AY2: Fácil acceso y retorno al/del sistema de ayuda
- AY3: Se ofrece ayuda contextual en tareas complejas
- AY4: FAQs (si la hay), es correcta tanto la elección como la redacción de las preguntas
- AY5: FAQs (si la hay), es correcta la redacción de las respuestas

La valoración para cada criterio establece dos tipos de valores de medición una numérica y una textual:

- La escala numérica de 0-10 puntos que indique el grado de conformidad del evaluador con el cumplimiento del criterio, asociados a nula o máxima usabilidad respectivamente.
- Un valor textual que indique no sólo si el criterio se cumple o no, si no en qué extensión del sitio web se detecta el problema en el caso de que el criterio no se cumpla. La valoración correspondiente se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Valores de evaluación textual y numérico [82]

Valor de evaluación	Definición	Valor Numérico
NTS	No se cumple en todo el sitio	0
NEP	No se cumple en los enlaces principales	2,5
NPP	No se cumple en la página principal	5
NPI	No se cumple en alguna página interior	7,5
S	Se cumple el criterio	10

El siguiente elemento que proporciona Sirius es una categorización de sitios web agrupados en 16 tipos, que se describen a continuación:

- **Administración Pública/Institucional:** Sitio web orientado a desempeñar una función de interés público. Se considerarán en este grupo todos aquellos sitios web que representen a alguna entidad del estado tales como ayuntamientos, ministerios, colegios, institutos, universidades, etc.
- **Banca electrónica:** Sitio web que proporciona a sus clientes herramientas para realizar operaciones bancarias a través del ordenador.
- **Blog:** Sitio web actualizado periódicamente que recoge en orden cronológico artículos de uno o varios autores y en el que el propietario tiene libertad para publicar lo que estime oportuno.
- **Comercio electrónico:** Sitio web en el que se pueden llevar a cabo transacciones comerciales.
- **Comunicación/Noticias:** Sitio web en el que las noticias actualizadas son el contenido principal.
- **Corporativo/Empresa:** Sitio web correspondiente a empresas o entidades privadas que se dan a conocer a través de la red. No se consideran en este grupo aquellas que comercialicen sus productos a través del sitio.
- **Descargas:** El objetivo principal de este tipo de sitios es permitir que el usuario acceda a diversos recursos tales como software, música o documentos.

- **Educativo/Formativo:** Sitio web cuya finalidad es proporcionar conocimiento al usuario.
- **Entornos colaborativos/Wikis:** Sitio web donde colaboran varios autores, añadiendo y editando su contenido.
- **Foros/Chat:** Sitio web que proporciona un medio de conversación entre dos o más personas.
- **Ocio/Entretenimiento:** Sitio web que proporciona al usuario el acceso a actividades lúdicas.
- **Personal:** Sitio web cuya finalidad sea ofrecer información acerca de una persona en particular.
- **Portal de servicios:** Sitio web que proporciona un punto de partida para acceder a otros recursos de internet o de una intranet.
- **Servicios interactivos basados en imágenes:** Herramientas tales como mapas, repositorios de fotografías o servicios de meteorología, entre otros.
- **Servicios interactivos no basados en imágenes:** Herramientas web tales como servicios de corrección ortográfica, traductor o buscador, entre otros.
- **WebMail/Correo:** Sitio web que permite gestionar el correo electrónico sin descargar los mensajes al propio ordenador

De acuerdo al tipo de sitio web, Sirius proporciona un nivel de relevancia de cada aspecto y criterio se detalla en el **Anexo C**. La escala utilizada para asignar la relevancia de los aspectos (heurísticas) se puede ver en la Tabla 6.

Tabla 6: Relevancia de los aspectos de Sirius

Relevancia aspecto	Valor de relevancia
Muy alta	4
Alta	3
Media	2
Baja	1

La relevancia de los criterios (subheurísticas), en función del sitio se las clasifican utilizando la escala que se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7: Relevancia de los criterios de Sirius

Relevancia criterio	Descripción	Valor de relevancia
Crítica (CR)	<ul style="list-style-type: none"> El problema identificado es severo. El usuario no podrá completar la tarea y podría no desear seguir utilizando el sitio Web 	8
Mayor (MA)	<ul style="list-style-type: none"> Es posible que el usuario complete la tarea pero tendrá mucha dificultad, frustración o incluso tendrá que ejecutar muchos pasos innecesarios. Podrá superarlo después de que se le haya mostrado cómo hacerlo 	4
Media (ME)	<ul style="list-style-type: none"> En la mayoría de casos, el usuario podrá completar la tarea, realizando un moderado esfuerzo para evitar el problema. Pueden necesitar investigar algunos enlaces para determinar que opción les permitirá completar la tarea propuesta. En navegaciones posteriores del sitio, los usuarios probablemente recordaran cómo ejecutar la tarea. 	2
Moderada (MO)	<ul style="list-style-type: none"> El problema ocurre de manera intermitente y puede ser fácilmente superado. Debido principalmente a problemas estéticos 	1

El valor de relevancia de los aspectos matizará los resultados de evaluación, de manera que, ante dos criterios de igual criticidad, sea la relevancia del aspecto al que pertenecen la que determine el nivel de prioridad de resolución.

La medida del nivel de usabilidad que proporciona Sirius es un porcentaje, que se obtiene al aplicar una fórmula en la que se consideran los siguientes conceptos:

- Factor de corrección: Valor de ajuste que se aplica a cada uno de los criterios evaluados con el fin de obtener diferentes niveles de usabilidad dependiendo de la relevancia de los mismos en función del tipo de sitio web en evaluación. Los valores resultantes al aplicar este factor de corrección debieran llevar a obtener valores de usabilidad comprendidos siempre entre 0 y 100, por tratarse de un porcentaje.
- Cálculo del Factor de Corrección: partiendo de los valores correspondientes a los diferentes niveles de relevancia de un criterio, el factor de corrección se calcula dividiendo cada valor de relevancia entre la suma de todos los valores de relevancia de los criterios evaluados.

La fórmula propuesta para la determinación del porcentaje de usabilidad de un sitio web es la siguiente:

$$PU = \frac{\sum_{i=1}^{i=nce} (fci * vci)}{\sum_{i=1}^{i=nce} (fci * 10)} * 100$$

Dónde:

nce	Número de criterios evaluados. Será como máximo 83, que son los propuestos en este sistema de evaluación. Se considera que alguno de los criterios pueda no ser aplicable al sitio en evaluación y, por lo tanto, no se evalúe.
vc	Valor de evaluación de un criterio (entre 0 y 10).
fc	Factor de corrección aplicado al criterio evaluado.

El valor del factor de corrección de cada uno de los criterios evaluados se obtiene de la siguiente manera:

$$fci = \frac{rci}{\sum_{j=1}^{j=nce} rcj}$$

Dónde:

rc: Valor de relevancia que corresponde a un criterio

2.6 Arquitecturas software y líneas de producto software

Bass en [83] menciona que todo sistema, por muy simple que sea, tiene asociada una arquitectura. Garlan and Shaw [84] define a la arquitectura de software como «*la descripción del sistema en términos de componentes funcionales, reutilizables e independientes que están interconectados que permiten la abstracción del sistema*». El estándar ISO/IEC/IEEE 42010: 2011 [85] define la arquitectura como «*conceptos o propiedades fundamentales de un sistema en su entorno incorporado en sus elementos, relaciones y en los principios de su diseño y evolución*».

Los componentes de una arquitectura software son piezas software abstraídas del sistema, que cumplen funciones específicas, e interactúan entre sí con un comportamiento definido [83]. Dicha interacción puede ser simple o compleja, cuando es compleja se define como un conector, una abstracción de la forma en que los componentes interactúan.

Las arquitecturas software normalmente se organizan siguiendo estilos y patrones arquitectónicos. Un estilo arquitectónico es una colección de decisiones de diseño que se han identificado y que son aplicables en un determinado contexto, restringen decisiones de diseño arquitectónicas que son específicas para un sistema en participar dentro del contexto, e identifican cualidades que son beneficiosas en los sistemas resultantes [86]. Garlan y Shaw definen un estilo arquitectónico como una familia de sistemas en términos de un patrón que establece una organización estructural [84]. Algunos ejemplos de estilos arquitectónicos son: main program and subroutines, object-oriented, virtual machines, client-server, pipe and filter, Blackboard, publish-subscribe, event-based and peer to peer [86].

Además, en las arquitecturas software es posible encontrar patrones arquitectónicos. Un patrón arquitectónico es un conjunto de decisiones que se ha identificado que son aplicables de una forma recurrente a un problema de diseño, y que es parametrizable para poder personalizarlo a diferentes contextos de desarrollo en los que el problema puede aparecer [86]. Algunos patrones arquitectónicos son: *State-Logic-Display (Three Tier)*, *n Tier*, *Model -View – Controller*, and *Sense - Compute – Control (Sensor-Controller-Actuator)* [86]. Las componentes arquitectónicas se pueden componer por clases que relacionadas entre sí pueden seguir patrones de diseño. Los patrones de diseño son una regla que consta de tres partes, la cual expresa una relación entre un contexto, un problema y una solución [87]). Gamma et al. [88] conceptualiza, clasifica y representa los patrones de diseño más conocidos basados en el context y el problema a resolver para sugerir una implementación con el propósito de mejorar los atributos de calidad.

Dentro de las arquitecturas software se encuentran las arquitecturas de líneas de producto [89]. Estas surgen de una nueva ingeniería de producción de software conocida como *Software Product-Line Engineering (SPLE)*. Esta ingeniería se fundamenta en aprovechar las características comunes de una familia de productos para construir su software común, ser reutilizado y así construir software de una forma más rápida y eficiente [90]. Este modelo de dominio-entonces-aplicación consta principalmente de tres procesos: análisis de características comunes y variabilidad, diseño de una arquitectura de dominio, también conocida como Arquitectura de línea de productos (PLA) (componentes comunes y variables), e implementación de un conjunto de activos centrales reutilizables [89]. Una vez construida esta PLA se pondrán construir productos mediante la personalización masiva de la arquitectura común añadiendo las variantes necesarias para construir cada producto software.

Las familias de productos software tienen propiedades comunes y variables en su funcionalidad, lo que hace que la adopción de la ingeniería de líneas de producto software - *Software Product Lines Engineering (SPLE)* sea una opción para muchos dominios de aplicaciones [91], [92]. SPLE aprovecha las características comunes de una familia de productos software y anticipa el grado esperado de variación a lo largo de la vida útil del producto.

La SPLE explota los elementos comunes que se encuentran en los productos de la misma familia mediante el uso de activos centrales reutilizables y la variabilidad de la familia mediante la construcción de activos variables (típicamente desarrollados en una fase llamada ingeniería de dominio [92]), que luego se personalizan y ensamblan. en productos específicos (típicamente desarrollados en una fase llamada ingeniería de aplicaciones [92]). SPLE implica una gran inversión inicial en ingeniería de dominios, pero se convierte en un retorno de inversión – Return of inversión (ROI) beneficioso durante la fase de ingeniería de aplicaciones. Significa un tiempo de comercialización más rápido, mejor calidad y menor coste mediante la reutilización sistemática y la personalización masiva.

La complejidad de los sistemas de software actuales hace que los requisitos no funcionales – Non functional requirements (NFR) sean tan críticos como los funcionales. Los NFR son características del sistema que se proporcionan como un todo, por lo que comúnmente cruzan la funcionalidad del sistema. Los NFRs se clasifican desde diferentes

puntos de vista. Sommerville [93] los clasifica entre requisitos externos, organizativos y de producto; mientras que la norma ISO / IEC / IEEE 29148 [94] los divide en requisitos de calidad y de partes interesadas. Según el estándar, se clasifican de una forma diferente, y los NFR que están altamente relacionados con la arquitectura y el diseño también se denominan atributos de calidad [93]. Existen modelos de calidad estandarizados para evaluar estos atributos de calidad [95]. Los estándares y pautas confirmados por los comités de estándares nos proporcionan mecanismos para medir en qué grado un producto de software cumple con un NFR o atributo de calidad.

La complejidad de los sistemas de software actuales hace que los requisitos no funcionales (NFR) sean tan críticos como los funcionales. Los NFR son características del sistema que se proporcionan como un todo, por lo que comúnmente cruzan la funcionalidad del sistema. Los NFRs se clasifican desde diferentes puntos de vista. Sommerville [93] Los clasifica entre requisitos externos, organizativos y de producto; mientras que la norma ISO/IEC/IEEE 29148 [94] Los divide en calidad y requisitos de los grupos de interés. Según el estándar, se clasifican de una manera diferente, y los NFR que están altamente relacionados con la arquitectura y el diseño también se denominan atributos de calidad [93]. Existen modelos de calidad estandarizados para evaluar estos atributos de calidad [95]. Los estándares y pautas confirmados por los comités de estándares nos proporcionan mecanismos para medir en qué grado un producto de software cumple con un NFR o atributo de calidad.

La variabilidad de una línea de producto se puede especificar con Feature Model (FM) o con modelo de variabilidad ortogonal (OVM) acrónimo de Orthogonal Variability Model. Un FM representa gráficamente una línea de productos por medio de combinaciones de características. Una FM se compone de dos elementos principales: características y relaciones entre ellos. Las características están estructuradas en un árbol donde una de estas características es la raíz [96]. Por otro lado OVM es un lenguaje de modelado para definir la variabilidad de un SPL de manera ortogonal, este modelo proporciona una vista transversal de la variabilidad en todos los artefactos de la línea de productos [90]. La trazabilidad entre OVM y los diferentes tipos de modelos base se establece a través de dependencias [97]. Un OVM interrelaciona la variabilidad en los modelos base entre ellos los modelos de requisitos, los modelos de diseño, los modelos de componentes y los modelos de prueba como se observa en la Figura 2.

Figura 2: Modelo de Variabilidad Ortogonal Nomenclatura y transversalidad

Un modelo ortogonal se documenta la variabilidad de la línea de productos, Metzger et. al en [98] refiere los siguientes elementos:

- **Punto de variación (VP)** documentan ¿qué varía? un elemento o una propiedad variable de un elemento.
- **Variante (V)** documenta ¿cómo varía el elemento o propiedad? es decir las posibles instancias de un punto de variación.
- **Restricciones de variabilidad:** puede haber restricciones en la variabilidad, porque la administración del producto decidió, por ejemplo, no ofrecer ciertas combinaciones de variantes en una aplicación o porque la realización de una variante requiere que esté presente otra variante.
- **Visibilidad de la variabilidad** ¿para quién está documentada? El OVM distingue entre la variabilidad interna y externa. Solo la variabilidad externa es visible para los clientes.

Roos en [99] afirma respecto a los elementos de un OVM que todos los VP están relacionadas con al menos una V y cada V está relacionada con un VP. Tanto los VP como los V pueden ser opcionales u obligatorios. Un VP obligatorio es un elemento que siempre debe estar presente. Un VP opcional no siempre debe estar presente o vinculado, pero puede ser elegido para un producto específico. Siempre que un VP, obligatorio u opcional, esté vinculado, se deben elegir sus instancias V obligatorias y se pueden elegir entre sus V opcionales. En un OVM, las variantes opcionales se pueden agrupar en opciones alternativas. Este grupo está asociado a una cardinalidad [min ... max] como se observa en la Figura 2. La cardinalidad determina cuántas V pueden elegirse en una opción alternativa, al menos min y como máximo V del grupo. La semántica de OVM se formaliza en [100] presentando su metamodelo y su semántica formal en Z. En el metamodelo se muestra la restricción de exclusión prevalece sobre la variante.

Por otro lado, una restricción puede definirse entre Vs, VPs y Vs y VPs y puede ser una restricción de exclusión o una restricción de dependencia y se denota utilizando la flechas con líneas entrecortadas como se muestra en la Figura 2. El ejemplo presentado por [100] permite comprender las restricciones en los OVM una restricción de dependencia entre variantes A y B, muestra que si A requiere B significa que en cualquier producto donde

aparezca la característica A, la característica B también debe aparecer. Por otro lado, una relación de A excluye B significa que ambas características no pueden aparecer en el mismo producto al mismo tiempo, el ejemplo se muestra en la Figura 3, donde la cámara requiere alta resolución, mientras que GPS excluye una pantalla básica.

Figura 3: Ejemplo de restricciones en OVM (Adaptado de [100])

Emplear el enfoque OVM tiene tres ventajas principales según Pohl y Metzger [101]:

- Comunicación mejorada: Disponibilidad de abstracciones de alto nivel de artefactos variables para simplificar la comunicación de la variabilidad de la línea de productos.
- Mejora de la toma de decisiones: los ingenieros tienen que hacer explícitos sus fundamentos para introducir la variabilidad.
- Mejora de la trazabilidad: las dependencias entre los artefactos variables se pueden rastrear fácilmente empleando las restricciones asociadas.

En esta tesis hemos elegido OVM para representar la variabilidad por estas ventajas y por el hecho de que es más flexible en un contexto de reutilización, ya que no hay que reutilizar todo el modelo, sino sólo aquellos puntos de variabilidad de un OVM que interesen en cada caso.

Capítulo 3: Arquitecturas y Líneas de Producto software para Sistemas/Plataformas REA accesibles y usables

Esta tesis doctoral persigue como objetivo el definir un marco de trabajo basado en líneas de producto software para mejorar la accesibilidad y usabilidad en el contenido de Recursos Educativos Abiertos (REA). Para ello, la tesis tiene como objetivo específico proponer una arquitectura y una línea de producto software centrada en usabilidad para el contenido REA. Si bien es cierto, para desarrollar dicho objetivo es necesario abordar previamente otro de los objetivos específicos de la tesis: conocer el estado actual de arquitecturas y líneas de producto software, componentes, funcionalidades y patrones definidos y aplicados en el contenido REA (OE2) (ver sección 1.2., Capítulo1).

Este capítulo se aborda este objetivo específico presentando el estudio realizado del estado actual de la accesibilidad y usabilidad en sistemas/plataformas REA, así como realizar el análisis de las características comunes y variabilidad que es el primer paso del modelo dominio-entonces-aplicación [89] para definir líneas de producto software (LPS). Para ello se realizó un mapeo sistemático de literatura basado en el proceso propuesto por Petersen et. al [24], actualizado por el mismo autor en [102] y la adaptación realizada en el trabajo de Fernández-Sánchez [25]. De forma que en el capítulo también se describe en qué consiste el mapeo sistemático.

Por tanto, el objetivo del mapeo sistemático es identificar el estado actual de las arquitecturas y líneas de producto software en el dominio de los REA y sus tipos LO, OCW y MOOCs identificando los aspectos comunes y la variabilidad en cada una de las propuestas existentes en la actualidad, así como los nichos y oportunidades que aún no han sido abordados.

3.1 Metodología: Mapeo Sistemático de Literatura

Para obtener el estado actual de las arquitecturas software en sistemas / plataformas REA, se aplicó el método de mapeo sistemático en ingeniería software propuesto por Petersen et. al [24] y su actualización [102] este tipo de estudios están diseñados para ofrecer una visión general de una área de investigación a través de la clasificación y el conteo de las contribuciones en relación con las categorías de esa clasificación. Implica buscar en la literatura para saber qué temas se han cubierto en la literatura y dónde se ha publicado [24]. El estudio de mapeo sistemático y una revisión sistemática de la literatura son comparables ya que comparten algunas características comunes (por ejemplo, con respecto a la búsqueda y la selección de estudios), son diferentes en términos de objetivos y, por lo tanto, enfoques para el análisis de datos. Si bien las revisiones sistemáticas apuntan a sintetizar evidencia, considerando también la solidez de la evidencia, los mapeos sistemáticos se ocupan principalmente de estructurar un área de investigación.

Muchos investigadores utilizan estudios de mapeo sistemático en varias áreas utilizando diferentes pautas o métodos. [103][104][105][106]. Kitchenham et al. [107] permite

identificar algunas características relevantes de los mapeos sistemáticos al compararlos con las revisiones sistemáticas entre ellos:

- Las preguntas de investigación en los estudios de mapeo sistemático son generales, ya que apuntan a descubrir tendencias de investigación (por ejemplo, tendencias de publicación a lo largo del tiempo, temas cubiertos en la literatura).
- El proceso de investigación se ve afectado, la búsqueda de estudios en mapas sistemáticos se basa en un área temática y algunas preguntas de investigación específicas.
- Los requisitos de búsqueda son menos estrictos para los estudios de mapeo, ya que solo estamos interesados en las tendencias de investigación.
- El resultado de un estudio de mapeo es un inventario de artículos sobre el área temática, asignados a una clasificación [108]. Por lo tanto, un estudio de mapeo proporciona una visión general del alcance del área y permite descubrir vacíos y tendencias de investigación [24].

El proceso definido para un estudio de mapeo sistemático en ingeniería de software propuesto por [102] incluye seis fases, que a continuación se describen brevemente:

1. *Preguntas de investigación* se plantean preguntas a responder con el mapeo, y que pretenden principalmente obtener tendencias de investigación en un área definida.
2. *Búsqueda* se sugiere utilizar PICO (Población, Intervención, Comparación y Resultados) propuesto por Kitchenham y Charters [109] para identificar palabras clave y formular cadenas de búsqueda a partir de preguntas de investigación. como las palabras clave identificadas a partir de preguntas de investigación y las palabras clave identificadas en muchos casos son similares, se agrupan en conjuntos. Cada conjunto de búsquedas se realiza en las bases de datos seleccionadas en base a la experiencia reportada por Dyba et al. [110].
3. *Selección de estudios y evaluación de la calidad* Se excluyeron los artículos basados en títulos y resúmenes, así como la lectura de texto completo y la evaluación de la calidad con la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión a los títulos y resúmenes fue realizada por un segundo autor. También se agregan estudios a través de la técnica de bola de nieve hacia atrás.
4. *Extracción de datos* Para extraer datos de los estudios primarios identificados, se aplica una plantilla. Cada campo de extracción de datos tiene un elemento de datos y un valor. La extracción fue realizada por el segundo autor y revisada por el primer autor rastreando la información en el formulario de extracción a las declaraciones en cada artículo y verificando su corrección. Hacer que otro autor verifique la extracción es una práctica común en las revisiones sistemáticas para las ciencias sociales [18].
5. *Análisis y clasificación* La información para cada artículo extraído se tabuló y se ilustró visualmente utilizando gráficos estadísticos. La información extraída fue agrupada y asignada a un tema por el primer autor durante el análisis. A partir de entonces, se contabilizaron los artículos pertenecientes a cada tema. Como en el ejemplo, para la fase de identificación del estudio, se identificaron cuatro temas principales (selección de la estrategia de búsqueda, desarrollo de la búsqueda, evaluación de la búsqueda e inclusión y exclusión) y sus subtemas. Los subtemas para el proceso de inclusión y exclusión se conocieron a priori y se basan en [28].
6. *Evaluación de la validez* Petersen y Gencel [29] revisaron los esquemas de clasificación de validez existentes y discutieron su aplicabilidad a la ingeniería de

software. Se deben tener en cuenta los siguientes tipos de validez: validez descriptiva, validez teórica, generalización, validez interpretativa

3.2 Mapeo Sistemático de Literatura: Arquitecturas para Sistemas/Plataformas REA accesibles y usables

El proceso de mapeo sistemático de literatura aplicado para identificar el estado actual de las arquitecturas software en sistemas / plataformas REA incluye las fases descritas en el párrafo anterior y se agrega la fase de Rigor y Relevancia que se incluye en el estudio de Fernández-Sánchez [25] por tanto se aplicaron siete fases que se describen brevemente en la Tabla 8 y se complementa con la Figura 4 que representa gráficamente las fases, su secuencia y sus correspondientes salidas.

Tabla 8: Breve descripción de las fases del mapeo sistemático aplicado

Fase del Mapeo sistemático	Breve descripción
1. Preguntas de investigación	Definición de las preguntas de investigación a responder con el mapeo
2. Búsqueda	Definición de la base de datos donde realizar la búsqueda, la cadena de búsqueda, realizar la búsqueda obtener número de resultados de la búsqueda por base de datos
3. Selección de estudios primarios	Definir y aplicar los criterios de inclusión, criterios de exclusión, bola de nieve (<i>snowballing</i>), calidad
4. Extracción de datos	Definición del esquema de clasificación a aplicar para el análisis de los estudios primarios
5. Análisis y clasificación	Aplicación del esquema de clasificación y análisis de los resultados
6. Rigor y relevancia de los estudios	Evaluación del rigor y relevancia de cada uno de los estudios primarios
7. Validación	Validación del trabajo interna, externa, de construcción y de confiabilidad

Figura 4: Proceso de mapeo sistemático aplicado

A continuación, se describe la ejecución de cada una de las fases para el mapeo de la bibliografía de esta investigación.

3.2.1 Definición de las preguntas de investigación

El objetivo de este mapeo sistemático es caracterizar e identificar el tipo de las arquitecturas de software utilizadas en las plataformas de REA, así como sus características funcionales y no funcionales, comunes y variables, con énfasis en los

atributos de accesibilidad y usabilidad por ser enfoque del trabajo. Para ello se plantearon las siguientes preguntas de investigación (PI):

- PI1: ¿Qué estilos y patrones arquitectónicos han sido adoptados por los sistemas/plataformas REA?
- PI2: ¿Qué elementos arquitectónicos componen los sistemas/plataformas REA?
- PI3: ¿Qué características funcionales y no funcionales han sido consideradas en los sistemas/plataformas REA?
- PI4: ¿Qué características funcionales y no funcionales para mejorar la accesibilidad y usabilidad han sido aplicadas en las arquitecturas de los sistemas/plataformas REA?
- PI5: ¿Qué elementos de líneas de producto software (LPS) se han incorporado en los sistemas/plataformas REA?

3.2.2 Búsqueda

Con el propósito de obtener los trabajos científicos que dan respuesta a las preguntas de investigación planteadas, se seleccionaron 5 bases de datos científicas para realizar las búsquedas, que son: ACM, IEEE, Scopus, ISI web of knowledge, y Science Direct. En cada una de ellas se realizó una búsqueda avanzada utilizando la siguiente cadena de búsqueda:

("Open Educational Resources" OR "OER" OR "Open Courseware" OR "OCW" OR "MOOC") AND ("software architecture" OR "software product line" OR ("architecture" AND "accessibility" AND "usability"))

El resultado de la búsqueda fueron 1025 recursos bibliográficos entre artículos científicos, capítulos de libros, estándares y reportes técnicos.

3.2.3 Selección de estudios primarios

Los artículos base para realizar el mapeo sistemático se denominan estudios primarios. Estos se seleccionan de la salida de la fase de búsqueda (ver apartado 3.2.2). En este caso, de la búsqueda, tal y como se ha anticipado en el apartado anterior, se obtuvieron 1025 artículos a considerar en el proceso de evaluación de la calidad y pertinencia para constituir el conjunto de estudios primarios. La selección incluye un conjunto de pasos definidos por la metodología del mapeo sistemático con algunas adaptaciones al contexto que se detallan a continuación. Estos pasos se ejecutan secuencialmente, de forma que la salida del paso anterior es la entrada del paso siguiente. A continuación, se describe como se realizó la selección de estudios primarios ejecución y resultados:

Paso 1: Lectura del título, resumen y palabras clave: En este paso se realizó la lectura del título, resumen y palabras clave de los artículos buscando que su contenido responda al menos a una de las preguntas de investigación planteadas para el estudio. De este proceso se seleccionaron 246 artículos que en su contenido incluyen algunos de los aspectos a mapear referentes a arquitecturas de software en sistemas / plataformas REA. A continuación, en la Tabla 9 detalla cómo se distribuyen esto 246 distribuidos por base de datos.

Tabla 9: Número de artículos primarios por base de datos

Base de Datos	Resultados de la Búsqueda tras una primera selección
ACM	47
IEEE	85
ISI Web of knowledge	21
Science Direct	30
Scopus	63
TOTAL	246

Paso 2: Aplicación de criterios de inclusión y exclusión: Con la salida del paso 1, en este paso se definen los criterios que permitan incluir o excluir artículos para el desarrollo del mapeo, estos fueron:

Los **criterios de inclusión (CI)** fueron:

- (i) El trabajo propone una arquitectura de software para REA, OCW o MOOC
- (ii) El artículo describe una arquitectura para REA, OCW o MOOC
- (iii) El trabajo muestra una representación gráfica de la arquitectura propuesta para REA, OCW o MOOC
- (iv) El artículo incluye componentes de una arquitectura software
- (v) El artículo propone una línea de producto software
- (vi) El artículo menciona funcionalidades orientadas a la accesibilidad y usabilidad de REA, OCW o MOOC.

Los **criterios de exclusión (CE)** fueron:

- (i) El trabajo no incluye una propuesta de arquitectura, aunque se mencione
- (ii) El artículo propone una arquitectura para e-learning
- (iii) El artículo no permite su acceso a la versión completa
- (iv) Falsos positivos: documentos que no son parte de la investigación
- (v) Artículos en forma de resumen, tutorial y charla no revisado por pares y que no proporcionan suficiente detalle para el estudio
- (vi) Artículos que no cumplan los criterios de inclusión

El resultado de la aplicación de los criterios inclusión y exclusión a los 246 artículos obtenidos en el paso 1, fue 89 artículos

Paso 3: Lectura artículos completos Los 89 artículos seleccionados se descargaron en versión completa y se leyeron buscando respuesta a las preguntas de investigación, es así que únicamente 40 artículos proporcionaban respuesta a al menos un elemento de los definidos en las preguntas de investigación, y fueron el resultado de esta fase (ver Figura 2).

Paso 4: Bola de nieve (snowballing) la técnica de la bola de nieve consiste en sobre una base identificada agregar nuevas capas de información útil para el estudio. En este caso, se aplicó sobre las referencias bibliográficas de los 40 artículos seleccionados. Los criterios de inclusión y exclusión aplicados para estos artículos fueron los mismos aplicados en la primera parte de selección de estudios primarios.

Adicionalmente, a los artículos identificados en la bola de nieve sobre la bibliografía, se consideró pertinente realizar una búsqueda de bibliografía referente a arquitecturas de software de plataformas REA, OCW o MOOCs referenciadas en los artículos seleccionados por ejemplo Edx, Miriada, Coursera entre otros.

Como resultado de este paso se obtuvieron 32 artículos adicionales, dando un total de 72 artículos.

Paso 5: Evaluación final de la calidad a los 72 artículos obtenidos en el paso anterior se les aplicó una evaluación de calidad orientada principalmente a eliminar duplicados y aquellos artículos que no respondieran a ninguna de las preguntas de investigación. Con este proceso se redujeron 18 artículos, quedando finalmente 54 artículos como estudios primarios a considerar para el mapeo a los cuales se les asignó código identificador, en la Tabla 10, se muestra los datos de cada uno de los artículos como título, año de publicación, autores, base de datos de donde se obtuvo, tipo de publicación, fuente en donde se publicó.

Tabla 10: Estudios primarios seleccionados

Código	Título	Autores	Año	Base de Datos	Tipo de artículo	Fuente
(Anido, 2002)	Architecting CORBA-based frameworks to support distributed and interoperable training systems in large enterprises	L. Anido ; M. Caeiro ; J. Rodriguez ; J.M. Santos	2002	IEEE	Artículo de Conferencia	Proceedings. Eleventh IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises
(Ochoa, 2002)	Reusing Courseware Components	Sergio F. Ochoa, Emilio G. Ormeño, José A. Pino	2002	ACM	Artículo de Conferencia	SEKE '02 Proceedings of the 14 th international conference on Software engineering and knowledge engineering
(IEEE, 2003)	Learning technologies system architecture	IEEE Learning Technology Standards Committee	2003	IEEE	Estándar	IEEE LTSC
(Kellar, 2004)	An Information Architecture to Support Dynamic Composition of Interactive Lessons and Reuse of Learning Objects	Melanie Kellar, Henry Stern, Carolyn Watters, Michael Shepherd	2004		Artículo de Conferencia	37 th Hawaii International Conference on System Sciences
(Pahl, 2004)	A web services architecture for learning object discovery and assembly	Claus Pahl, Ronan Barrett	2004	ACM	Artículo de Conferencia	Proceedings of the 13 th international World Wide Web conference on Alternate track papers & posters

(Lai, 2007)	An Efficient Approach for Building Web-based Courseware	Wei Lai; Xiaodi Huang	2007	IEEE	Artículo de Conferencia	2007 First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education
(Robal, 2009)	Creating interactive learning objects with web services	Robal Tamor, Ahto Kaija	2009		Artículo de Conferencia	EAAEEIE Annual Conference
(Li-fang, 2010)	A study on construction of open courseware of landscape design	Qiao, L.-F., Luo, H.-C., Li, M., Zhang, Y.-C.	2010	Scopus	Artículo de Conferencia	2010 International Conference on Optics, Photonics and Energy Engineering (OPEE)
(Leal, 2011)	Using the Learning Tools Interoperability Framework for LMS Integration in Service Oriented Architectures	José Paulo Leal and Ricardo Queirós,	2011	ISI	Artículo de Conferencia	Conference: 2 nd International Conference on Technology Enhanced Learning, Quality of Teaching and Reforming of Education
(Piedra, 2011)	Finding OERs with social-semantic search	Piedra, N., Chicaiza, J., López, J., Tovar, E., Martinez, O.	2011	Scopus	Artículo de Conferencia	Published in: Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2011 IEEE
(Yu, 2011)	A Linked Data-driven & Service-oriented Architecture for Sharing Educational Resources	Hong Qing Yu, Stefan Dietze, Ning Li, Carlos Pedrinaci, Davide Taibi, Nikolas Dovrolis, Teodor Stefanut, Eleni Kaldoudi and John Domingue	2011		Artículo de Conferencia	Conference: 8 th Extended Semantic Web Conference – Linked Learning 2011: Proceedings of the ESWC2011
(Dietze, 2012)	Linked Education: interlinking educational Resources and the Web of Data	Dietze, Stefan; Yu, Hong Qing; Giordano, Daniela; Kaldoudi, Eleni; Dovrolis, Nikolas and Taibi, Davide	2012		Artículo de Conferencia	the 27 th ACM Symposium On Applied Computing (SAC-2012)
(Piedra, 2012)	Combining Linked Data and mobiles devices to improve access to OCW	Piedra, N., Chicaiza, J., López, J., Tovar, E., Martinez-Bonastre, O.	2012	Scopus	Artículo de Conferencia	Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2012 IEEE
(Khanna, 2013)	An OER Architecture Framework Needs and Design	Pankaj Khanna and P C Basak	2013	ISI	Artículo de Revista	The International Review of Research in Open and Distributed

						Learning, Vol 14, No 1 (2013)
(Peco, 2013)	Architecture of a MOOC based on CourseBuilder	Pedro Pernias Peco ; Sergio Lujan-Mora	2013	IEEE	Artículo de Conferencia	2013 12 th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)
(Sonwalkar, 2013)	The First Adaptive MOOC: A Case Study on Pedagogy Framework and Scalable Cloud Architecture—Part I	Nishikant (Nish) Sonwalkar	2013		Artículo de Conferencia	MOOCs Forum 2013
(Vladoiu, 2013)	QORECT – A case-based framework for quality-based recommending open courseware and open educational resources	Vladoiu, M., Constantinescu, Z., Moise, G.	2013	Scopus	Artículo de Conferencia	International Conference on Computational Collective Intelligence ICCCI 2013:
(Ding, 2014)	A distributed operation architecture of MOOCs for open experiment	Y Ding, T Cheng, P Feng, G Xu	2016	Scopus	Artículo de Revista	Applied Mechanics and Materials, Vols. 631-632, pp. 1089-1095, 2014
(Hernández, 2014)	Cloud Learning Activities Orchestration for MOOC Environments	Rocael Hernández, Christian Gütl and Hector R. Amado-Salvatierra1	2014	Scopus	Artículo de Conferencia -	Third International Workshop, LTEC 2014, Santiago, Chile, September 2-5, 2014. Proceedings
(Jurado, 2014)	Learning tools interoperability for enhancing a distributed personal learning environment with support for programming assignments	Francisco Jurado ; Miguel A. Redondo	2014	IEEE	Artículo de Conferencia	2014 International Symposium on Computers in Education (SIIE)
(Moltó, 2014)	On using the cloud to support online courses	Germán Moltó ; Miguel Caballer	2014	IEEE	Artículo de Conferencia	2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings
(Piedra, 2014)	An Architecture based on Linked Data technologies for the Integration and reuse of OER in MOOCs Context	Nelson Piedra, Janneth Alexandra Chicaiza & Jorge López	2014	Scopus	Artículo de Revista	Open Praxis , vol. 6 issue 2, April–June 2014

(Selviandro, 2014)	Open learning optimization based on cloud technology: Case study implementation in personalization e-learning	Selviandro, N., Suryani, M., Hasibuan, Z.A.	2014	Scopus	Artículo de Conferencia	16 th International Conference on Advanced Communication Technology
(Wright, 2014)	User-driven mobile authoring system	Wright, B., Sukittanon, S.	2014	Scopus	Artículo de Conferencia	SOUTHEASTCON 2014, IEEE
(Zhuo, 2014)	The design of mobile technology systems architecture for MOOC	Jun Zhuo ; Xuefang Jiang	2014	IEEE	Artículo de Conferencia	2014 11 th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)
(Alario-Hoyos, 2015)	My Learning Mentor: A Mobile App to Support Learners Participating inMOOCs	Alario-Hoyos, C ; Estevez-Ayres, I; Sanagustin, MP; Leony, D; Kloos, CD	2015	ISI	Artículo de Revista	Journal of Universal Computer Science 21(5):735-753 · July 2015
(Buchem, 2015)	Wearable Enhanced Learning for Healthy Ageing: Conceptual Framework and Architecture of the “Fitness MOOC”	Ilona Buchem, Agathe Merceron, Jörn Kreutel	2015	ISI	Artículo de Revista	Interaction Design and Architecture(s) Journal – IxD&A, N.24, 2015, pp. 111-124
(Caeiro-Rodríguez, 2015)	A Keyword Recommendation Experiment to Support Information Organization and Folksonomies in Edu-AREA	Manuel Caeiro-Rodríguez, Juan M. Santos-Gago, Manuel Lama, and Martin Llamas-Nistal,	2015	IEEE	Artículo de Revista	IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (Volume: 10, Issue: 2, May 2015)
(Cherkaoui, 2015)	A model of adaptation in Online Learning Environments (LMSs and MOOCs)	C. Cherkaoui ; A. Qazdar ; A. Battou ; A. Mezouary ; A. Bakki ; D. Mamass ; A. Qazdar ; B. Er-Raha	2015	IEEE	Artículo de Conferencia	2015 10 th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)
(Chunwijitra, 2015)	The Strategy to Sustainable Sharing Resources Repository for Massive Open Online Courses in Thailand	Sila Chunwijitra, Sitdhibong Laokok, Chanchai Junlouchai, Pornchai Tummarattananont, Kamthorn Krairaksa, Phondanai Khanti, Chai Wutiwiwatchai,	2015	IEEE	Artículo de Conferencia	2015 12 th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)

(Cook, 2015)	MOOCIm User Modelling for MOOCs	Ronny Cook(B), Judy Kay, and Bob Kummerfeld	2015	Scopus	Artículo de Conferencia	International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization
(Cruz-Benito, 2015)	Extending MOOC ecosystems using web services and software architectures	Juan Cruz-Benito, Oriol Borrás-Gené, Francisco J. García-Peñalvo, Ángel Fidalgo Blanco, Roberto Therón	2015	ACM	Artículo de Conferencia	Proceedings of the XVI International Conference on Human Computer Interaction
(Labib, 2015)	Enforcing reuse and customization in the development of learning objects: a product line approach	A. Ezzat Labib, M. Carmen Penadés, José H. Canós, Abel Gómez	2015	ACM	Artículo de Conferencia	SAC '15 Proceedings of the 30 th Annual ACM Symposium on Applied Computing
(Nakabayashi, 2015)	On Generic Communication Patterns between Courseware Objects in Extensible Learning Support System Architecture for Self- and Group Learning	Kiyoshi Nakabayashi; Yosuke Morimoto	2015	IEEE	Artículo de Conferencia	2015 IEEE 15 th International Conference on Advanced Learning Technologies
(Navarrete, 2015)	Evaluating findability of open educational resources from the perspective of users with disabilities: A preliminary approach	Navarrete, R., Lujan-Mora, S.	2015	Scopus	Artículo de Conferencia	2015 Second International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)
(Piedra, 2015)	Seeking open educational resources to compose massive open online courses in engineering education an approach based on linked open data	Piedra, N., Chicaiza, J., López, J., Tovar, E.	2015	ISI	Artículo de Revista	Journal of Universal Computer Science 21(5): 679-711 · July 2015
(Rajabi, 2015)	Interlinking Educational Resources to Web of Data through IEEE LOM	Enayat Rajabi, Miguel-Angel Sicili, and Salvador Sanchez-Alonso	2015		Artículo de Revista	Computer Science and Information Systems
(Songbin, 2015)	The Design of Massive Open Online Course Platform for English Translation Learning Based on Moodle	Bao Songbin ; Meng Fanqi	2015	IEEE	Artículo de Conferencia	2015 Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies

(Zhuhadar, 2015)	Semantically enriched Massive Open Online Courses (MOOCs) platform	Leyla Zhuhadar a,†, Sebastian Ryszard Kruk b, Jerry Daday c	2015	Science Direct	Artículo de Revista	Computers in Human Behavior Volume 51, Part B, October 2015, Pages 578-593
(Navarrete, 2016)	Evaluating findability of open educational resources from the perspective of users with disabilities: A preliminary approach	Navarrete, R., Lujan-Mora, S.	2015	Scopus	Artículo de Conferencia	2015 Second International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)
(Perez-Rodriguez, 2016)	Architecture of a concept-based information retrieval system for educational resources	Roberto Pérez-Rodríguez a, Luis Anido-Rifón, Miguel Gómez-Carballa, Marcos Mouriño-García	2016	Science Direct	Artículo de Revista	Science of Computer Programming
(Rustam, 2016)	The knowledge market online learning (K-MALL) architecture for higher education	D. Didi Rustam ; Th. P. Theo van der Weide	2017	Scopus	Artículo de Conferencia	2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)
(Sun, 2016)	Profiling and Supporting Adaptive Micro Learning on Open Education Resources	Geng Sun ; Tingru Cui ; Ghassan Beydoun ; Jun Shen ; Shiping Chen	2016	Scopus/IEEE	Artículo de Conferencia	2016 International Conference on Advanced Cloud and Big Data (CBD)
(Vasiliev, 2016)	ECOLE: An ontology-based open online course platform	Vasiliev, V., Kozlov, F., Mouromtsev, D., Stafeev, S., Parkhimovich, O.	2016	Scopus	Capítulo de Libro	Open Data for Education, eecture Notes in Computer Science, vol 9500, pp 41-66
(Bremgartner, 2017)	Conceptual framework of educational resources adaptation for improve collaborative learning in virtual learning environments	Vitor Bremgartner, J. F. de Magalhães Netto, Crediné Silva de Menezes	2017	IEEE	Artículo de Conferencia	IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)
(Favario, 2016)	A New Architecture for Cross-Repository Creation and Sharing of Educational Resources	Leonardo Favario, Enrico Masala	2017	ISI	Artículo de Revista	International Journal of emerging technologies in learning

(Hajri, 2017)	MORS: A System for Recommending OERs in a MOOC	Hiba Hajri ; Yolaine Bourda ; Fabrice Popineau	2017	IEEE	Artículo de Conferencia	17 th International Conference on Advanced Learning Technologies
(Jin, 2017)	Design Research on Open MOOC Platform	Rong Jin	2017		Artículo de revista	Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 32, N°11,
(Longo, 2017)	A Microservice-Based MOOL in Acoustics Addressing the Learning-at-Scale Scenario	Antonella Longo, Marco Zappatore	2017	IEEE / scopus	Artículo de Conferencia	Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 2017 IEEE 41 st Annual
(Rodriguez, 2017)	A framework for improving web accessibility and usability of Open Course Ware sites	Rodriguez, Perez, Cueva, Torres	2017	Science Direct	Artículo de Revista	Computers and Education
(Valenzuela, 2017)	Educational resources as learning Web services, an alternative point of view to learning objects.	B. D. Valenzuela, O. G. Fragoso, E. R. Santaolaya, and J. Muñoz	2017	IEEE/ISI	Artículo de Revista	IEEE Latin America Transactions (Volume: 15, Issue: 4, April 2017)
(Vigentini, 2017)	Dynamic dashboard for educators and students in FutureLearn MOOCs: Experiences and insights	Lorenzo Vigentini , Andrew Clayphan, Mahsa Chitsaz	2017	Scopus	Artículo de Conferencia	Workshop at the 7 th International Learning Analytics and Knowledge Conference
(Villalba, 2017)	A recommender system of open educational resources based on the purpose of learning	Klinge Villalba, Claudia Deco, Francisco J. García-Peñalvo	2017	IEEE	Artículo de Conferencia	Twelfth Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)
(Edx, 2018)	Open edX Architecture		2018		Página web	EdX

La Figura 5 muestra gráficamente el proceso de selección de estudios primarios, así como la evolución del número de artículos por cada una de las fases aplicadas, desde los artículos base resultado de la búsqueda.

Figura 5: Número de artículos resultantes por cada fase para la selección de estudios primarios

3.2.4 Esquema de clasificación (keywording)

El objetivo del *Keywording* es crear un esquema de clasificación eficiente, asegurando que todos los documentos relevantes sean tomados en cuenta para el proceso del mapeo sistemático (ver Figura 6). Para ello se inició con los términos que identifican el dominio de investigación que son los REA con sus tipos objetos de aprendizaje (OA) y courseware, utilizando el idioma y terminología de la cadena de búsqueda *open educational resources*, *open courseware*, *MOOC*. Por otro lado, se utilizaron las palabras de las preguntas de investigación y posibles respuestas. Concretamente, estas fueron: *architecture*, *components*, *elements*, *features*, *pattern* y *software product line*. Todas estas palabras constituyen el esquema de clasificación definido para responder las preguntas de investigación planteadas en el apartado 3.1.1 y se ha estructurado de la siguiente forma:

- Estilo y patrón arquitectónico de software propuesto en el artículo por tipo de recurso educativo abierto: objeto de aprendizaje, REA, OCW o MOOC.
- Componentes software que incluyen las arquitecturas propuestas por tipo de recurso educativo abierto: objeto de aprendizaje, REA, OCW o MOOC.
- Características funcionales y no funcionales proporcionadas por la arquitectura propuesta por tipo de recurso educativo abierto: objeto de aprendizaje, REA, OCW o MOOC.
- Características funcionales y no funcionales orientadas a mejorar la accesibilidad o usabilidad de los REA.

El segundo paso fue retroalimentar el esquema de clasificación inicialmente definido con el objeto de no dejar fuera detalles relevantes o de interés a considerar para responder las

preguntas de investigación mediante una lectura rápida de cada artículo completo tomando la adaptación de [25] que se muestra en la Figura 6.

Figura 6: Proceso de definición del esquema de clasificación (keywording), Fernández-Sánchez [25]

3.2.5 Clasificación y análisis

Una vez definido el esquema de clasificación, se utilizaron hojas de cálculo creadas para la tabulación de los datos en base al esquema identificado. Para así permitir la clasificación y cuantificación de los aspectos que aporta cada artículo y responder cada una de las preguntas de investigación.

Se creó una hoja de cálculo para mapear las respuestas a cada pregunta de investigación, se ubicó en cada una de las **filas** el código de identificación de cada uno de los estudios primarios; mientras que en las **columnas** se ubicó cada uno de los elementos del esquema de clasificación que el artículo proporciona respecto a la pregunta de investigación, es así que se agrega una columna por cada elemento que el artículo aporta. A continuación, se describe cada una de las 5 hojas de cálculo utilizadas para realizar el mapeo y en el **Anexo D** se muestra las hojas de cálculo completas resultado del mapeo.

Tabla1: Pregunta de Investigación 1: ¿Cuáles estilos y patrones arquitectónicos han sido adoptados por los sistemas/plataformas REA?

La tabla utilizada para mapear los artículos y dar respuesta a la pregunta de investigación 1 ¿Cuáles estilos y patrones arquitectónicos han sido adoptados por los sistemas/plataformas REA? Se compone por 54 filas correspondientes a cada uno de los estudios primarios, y las columnas se han categorizado en tres grupos (i) Estilos arquitectónicos donde se incluyeron aquellos que aparecerían en los artículos y son: *REST*, *Service*, *Client-Server*, *Layers*, *Cloud*, *Microservices*, y *Other*; (ii) Patrón Arquitectónico: *Broker* y *View Control Model*, (iii) Patrones de diseño: *Factory*, *Proxy* y *Serializer*. La tabla resultante se muestra en el Anexo D.1

Tabla2: Pregunta de Investigación PI2: ¿Qué elementos arquitectónicos componen los sistemas/plataformas REA?

La tabla utilizada para dar respuesta a la pregunta de investigación 2 ¿Qué elementos arquitectónicos componen los sistemas/plataformas REA?, utilizando el mapping, se compone igualmente de las 54 filas correspondientes a cada uno de los estudios primarios, y las columnas corresponden a cada componente software identificado en los estudios primarios que fueron: interfaz de usuario (*User interface (UI)*), servicios

(*Services*), orquestador (*Orchestator*), componentes para trabajo cooperativo y colaborativo *Component for collaborative and cooperative work*, herramientas o componentes sociales (*Social components or tools*), comunicaciones (*Communications*), autenticación (*Authentication*), evaluación (*Assessment*), módulo analítico (*Analytics module*), motor semántico (*Semantic engine*), notificaciones correos (*Email notification*), recomendador (*Recommender*), reglas y lógica de negocios (*Business logic or rules*), motor de búsqueda (*Search engine*), motor adaptativo (*Adaptative engine*), Sistema manejador de contenidos (*Content management system (CMS)*). La tabla resultante se muestra en el Anexo D.2

Tabla3: Pregunta de Investigación PI3: ¿Qué características funcionales y no funcionales han sido consideradas en los sistemas/plataformas REA?

Para responder esta pregunta de investigación se han utilizado dos hojas de cálculo (tablas), una para las características funcionales, y otra para las no funcionales.

La primera tabla utilizada para dar respuesta a la pregunta de investigación se centró en las características funcionales. Igual que las tablas anteriores, cada una de las 54 filas corresponde al código de los estudios primarios, y las columnas corresponden a cada una de las características funcionales encontradas que se han categorizado en seis grupos para mejor comprensión y análisis: (i) Gestión de contenido que incluye las siguientes funcionalidades: metadatos *Metadata*, leer contenido *Read content*, crear contenido *Create content*, buscar contenido *Search content*, personalizar contenido *Customize content*, compartir contenido *Share content*, colecta de contenidos *Content harvest*, recomendador *Recommender*, actualización de contenido *Update content*, borrar contenido *Delete content*, búsqueda avanzada *Advance search*, empaquetar contenido *Content package*, priorizar contenido en base a un índice *Ranking content* (ii) Gestión de estructura, (iii) Gestión de usuarios y perfiles, (iv) Gestión de actividades, (v) gestión de contexto y (vi) Otros que incluyen: Calificaciones *Grades tracking*, secuencia o flujo *Sequence or workflow*, autenticación *Authentication*, analítica *Analytics*, acreditación *Accreditation*, traducción *Translate*, notificación *Notification*, juego *Gamification*, e informe *Report*.

La segunda tabla utilizada se centró en las características no funcionales, igualmente a las que se clasificó utilizando dos categorías la primera basada el estándar de calidad de productos software (i) ISO 9126 que incluye: funcionalidad *Functionality*, confiabilidad *Reliability*, usabilidad *Usability*, eficiencia *Efficiency*, mantenibilidad *Maintainability* y portabilidad *Portability*. Y la segunda categoría (ii) Otros calidad: *Quality*, accesibilidad *Accessibility*, rendimiento *performance*, reusabilidad *Reusability*, disponibilidad *Availability*, escalabilidad *Scalability*, persistencia *Persistence*, tiempo de respuesta *response time*, costo de desarrollo *Cost development*.

Para mayor descripción de cada una de las características funcionales y no funcionales consideradas en las tablas véase la información del apartado 3.4 pregunta PI3, las tablas resultantes completas se muestran en el Anexo D.3

Tabla 4: Pregunta de investigación PI4: ¿Qué características funcionales y no funcionales para mejorar la accesibilidad y usabilidad han sido aplicadas en las arquitecturas de los sistemas/plataformas REA?

La tabla utilizada para realizar el *mapping* para responder la pregunta 4: ¿Qué características funcionales y no funcionales para mejorar la accesibilidad y usabilidad han sido aplicadas en las arquitecturas de los sistemas/plataformas REA?, está formada por las 54 filas correspondientes a los estudios primarios, y las columnas a cada una de las funcionalidades de accesibilidad y usabilidad encontradas en ellos. Estas funcionalidades fueron las siguientes: agrandar letra *Large font*, alto contraste *High contrast*, etiqueta clara *Clear label*, menú de navegación uniforme *Uniform navigation menu*, barra de lenguaje *Language Bar*, barra de perfil de discapacidad *Disability profile bar*, ceguera *Blindness*, sordera *Deafness*, simplificar *Simplify*, habilidades motoras *Motor skills*, baja visión *Low vision* y mensajes de error *Error message*. La tabla completa se muestra en el Anexo D.4

Tabla 5: Pregunta de investigación PI5: ¿Qué elementos de líneas de producto software (LPS) se han incorporado en los sistemas/plataformas REA?

La Tabla utilizada para realizar el *mapping* para responder la pregunta de investigación 5: ¿Qué elementos de líneas de producto software (LPS) se han incorporado en los sistemas/plataformas REA? fue una tabla más sencilla que comprendía los 54 estudios primarios, y una columna para identificar si algunos de los estudios incluyen o no elementos de líneas de producto software (LPS). Este análisis no creció en columnas dado que únicamente un artículo de Labid et. al en [27] propone líneas de producción de documentos aplicadas a la generación de objetos de aprendizaje (OA).

Una vez mapeados en cada uno de los estudios primarios los aspectos definidos en el esquema de clasificación se realizó un análisis estadístico y de cruces de variables para responder las preguntas de investigación planteadas y realizar la síntesis de los resultados. Para este análisis estadístico y de cruce de variables se tomó como base el formato de datos y análisis del estudio de [25].

3.2.6 Rigor y Relevancia

Tomando como referencia otros estudios de mapeo sistemático realizados [111], [24] y [25] se consideró relevante incluir el análisis del rigor y la relevancia para la industria de los artículos mapeados, como una forma de medir la aplicación de las propuestas de arquitecturas de software o líneas de productos software en iniciativas reales de LO, REA, OCW o MOOC. Para ello se utilizó el método propuesto por Ivarsson y Gorshek [26], donde el rigor corresponde a la exactitud o precisión del método de investigación evaluado en tres aspectos el contexto descrito (C), el diseño del estudio descrito (D) y la validez discutida (V). Cada aspecto se valora con una escala de 0, 0,5, o 1, donde 0 es ningún rigor y 1 alto rigor, por lo que el rigor máximo de un artículo es 3. Por otro lado, la relevancia se refiere al realismo del entorno en el que se obtienen los resultados y al grado en que el método de investigación facilita la transferencia de los resultados obtenidos. El modelo define cuatro aspectos para medir la relevancia Contexto (C), Método de investigación (RM), Usuario/Tema (U), Escala (S) que se califican con 0 o 1. Por lo tanto, la puntuación de relevancia total de un artículo está entre 0 y 4: 0 es la peor puntuación y 4 es la mejor puntuación. Para cada uno de los estudios primarios se levantaron los parámetros indicados por la metodología el resultado de muestra en el (Anexo E).

3.2.7 Validación

Esta sección aborda el análisis de validez y los posibles sesgos y las acciones tomadas para minimizar sus efectos. Las conducciones de SLR tienen en cuenta los tres tipos específicos de sesgos en las conducciones de SLR [58]: identificación de artículos, selección de estudios y obtención de datos precisos. Este tipo de análisis también es aplicable en un mapeo sistemático para tomar en cuenta estos sesgos. Es por ello, que se aplicó a este estudio.

Validación Interna

Para mejorar la validez interna de los resultados presentados, se realizó la selección de estudios y la interpretación de los resultados para más de un autor. Por un lado, la inclusión y exclusión de los estudios fue completada por dos de los autores del presente estudio, y cualquier discrepancia se resolvió tomando una decisión entre todos los autores. Este procedimiento se aplicó a la segunda y tercera ronda de la selección del estudio (ver sección 3.1.3). Por otro lado, el análisis de los artículos también fue realizado por más de un autor, para verificar las conclusiones del análisis y evitar el sesgo personal. La experiencia, la investigación y la formación académica de los autores han tenido una gran influencia en los resultados. Esta influencia se ha reducido, ya que la experiencia y la capacitación de los autores son diferentes y son de diferentes universidades. Sin embargo, esto no mitiga completamente el sesgo, ya que están trabajando juntos y comparten puntos de vista e intereses comunes

Validación en la construcción

La validez de construcción se refiere al procedimiento utilizado para recopilar datos y a obtener las medidas correctas para el estudio. Esta amenaza a la validez ha sido mitigada por las directrices propuestas por [102]. Con respecto a la obtención de datos precisos, los documentos seleccionados se publicaron en revistas, actas de congresos o talleres, de acuerdo con un proceso de revisión por pares, y también se consideraron el año y tipo de publicación (ver Figura 7 y Figura 8).

Validación externa

La validez externa está influenciada por la identificación de los artículos. Varios factores pueden afectar la identificación: los criterios de los revisores y editores de revistas y conferencias, la investigación patrocinada por la industria en algunas áreas, el lugar de publicación, los estudios de indexación sesgada en las bases de datos de literatura, las búsquedas inadecuadas o incompletas, los artículos que se citan. Más a menudo que otros, y estudios que generan múltiples publicaciones. Además, la cadena de búsqueda tiene una gran influencia, ya que puede descartar los documentos que son relevantes en el estudio. Para minimizar el impacto de este sesgo en este mapeo sistemático, se utilizaron varias bases de datos de literatura diferentes para incluir el número máximo de fuentes, y la cadena de búsqueda se formó con los términos más genéricos para cubrir la mayoría de los trabajos. Sin embargo, estas bases de datos electrónicas son bases de datos científicas y los trabajos de la industria o entornos comerciales no están cubiertos.

Confiabilidad

La confiabilidad tiene que ver con la replicación, esta amenaza a la validez se supera completamente gracias a la naturaleza sistemática del procedimiento del mapeo sistemático (MS) y la cadena de búsqueda, los criterios de inclusión, criterios de exclusión y las fechas proporcionadas. Por lo tanto, este MS puede ser reproducido por otros autores.

3.3 Informe de resultados del Mapeo Sistemático

El estudio realizando siguiendo el proceso de mapeo sistemático dio como resultado de la búsqueda un total de 246 trabajos, de los cuales fueron seleccionados 54 artículos. La Figura 7 muestra el número de artículos que se seleccionaron para el mapeo distribuidos por año de publicación.

Figura 7: Estudios primarios por año

En la Figura 7 se puede observar la evolución de los artículos seleccionados referente a arquitecturas software en REA, que si bien se encontró bibliografía disponible desde 1998, los artículos seleccionados inician en el 2002 con dos publicaciones referentes a OCW. En los siguientes 3 años hay cero publicaciones, mientras que a partir de ellos se encuentran de dos a tres publicaciones hasta el 2008, y en 2009 cinco publicaciones. El repunte en investigación en esta temática se observa claramente que comienza en el año 2010, con un promedio de 28 publicaciones por año, lo que denota que es un área de investigación en auge.

La Figura 8 muestra la evolución de los artículos seleccionados clasificados por tipo de fuente donde se publicaron: conferencias, revistas y otras publicaciones. En la misma figura se puede observar que la mayoría de los artículos seleccionados han sido publicados en conferencias o eventos, exactamente 38 artículos, mientras que se publicado 13 en revistas y 2 en otras publicaciones, concretamente en un estándar y un capítulo de libro.

Figura 8: Fuentes de los estudios primarios

La Figura 9 muestra el resultado del rigor y relevancia de los 54 artículos analizados. A partir de ella, se observa que únicamente el 29,41% presentan una relevancia media alta es decir entre 2 y 4, y el 31,37% un nivel de rigor medio alto en el intervalo de 1,5 a 3. Por lo tanto, la mayoría de los artículos, alrededor del 70%, presentan un rigor y una relevancia baja de 0 a 1,5 y de 0 a 2, respectivamente. De ese 70% casi el 20% de artículos tiene 0 rigor y 0 relevancia. Este hecho se podría atribuir a que es un área de investigación que está comenzando ahora, tal, y como refleja la Figura 7, y que eso hace que haya poco trabajo realizado respecto a arquitecturas software para plataformas de REA. Por ello, la mayoría de los trabajos únicamente se centran en estudiar el área y realizar propuestas teóricas, dejando su aplicación en contextos reales para trabajos futuros.

Figura 9: Rigor y Relevancia de los estudios primarios

3.4 Respuesta a las preguntas de investigación

De acuerdo con el esquema de clasificación definido en palabras clave (ver sección 3.2.4). Necesitamos identificar la distribución de los 54 artículos analizados por tipo de recurso educativo, teniendo en cuenta la clasificación definida por [33]. Se puede observar que 9 de los artículos proponen arquitecturas para LO que representa el 16,07%, 17 artículos 30,36% proponen arquitecturas para REA, 7 artículos 12,50% proponen arquitecturas para *courseware* y 23 de los artículos 41,07% proponen arquitecturas para MOOC. La Figura 10 muestra la evolución de las propuestas por dominio, cabe indicar que existen dos artículos que propone una arquitectura aplicable a dos tipos de REA, [112] referencia

tanto a REA y OCW, y [113] a REA y MOOC. Es por ello que la sumatoria de tipos de recursos es 56, en lugar de 54.

Figura 10: Artículos por tipo de REA

A continuación, se muestran las respuestas obtenidas del mapeo para cada una de las preguntas de investigación planteadas.

PI1: ¿Cuáles estilos y patrones arquitectónicos han sido adoptados por los sistemas/plataformas REA?

Como se mencionó en el *Background* capítulo 2 apartado 2.6, las arquitecturas software se pueden organizar siguiendo estilos o patrones arquitectónicos. En los artículos se identificaron seis tipos de estilos arquitectónicos o patrones software y se agregó una categoría otros que se describen a continuación:

- Cliente / servidor (*Client/Server*): Este estilo arquitectónico estructura las aplicaciones en dos tipos de componentes, clientes y servidores. Los clientes envían peticiones de servicio a los servidores, los cuales ejecutan las funciones requeridas y responden a lo solicitado [86].
- Capas (*Layers*): Este es un patrón arquitectónico que estructura las aplicaciones que pueden ser descompuestas en grupos de subtarear, las cuales se clasifican de acuerdo a un nivel particular de abstracción [86].
- Arquitecturas Orientadas a Servicio (SOA: *Service-Oriented Architectures*): SOA es un estilo arquitectónico que diseñan, desarrollan, implementan y administran sistemas en los cuales: (i) los servicios proporcionan una funcionalidad empresarial reutilizable, (ii) los consumidores de servicios se crean utilizando la funcionalidad de los servicios disponibles, y (iii) las definiciones de la interfaz de servicio son artefactos de primera clase. Una infraestructura SOA permite el descubrimiento, la composición y la invocación de servicios [114].
- REST (*REpresentational State Transfer*): REST es un estilo de arquitectura de software para sistemas hipermedia distribuidos como la Web. El término REST captura la idea de que los elementos de las aplicaciones en red intercambian sus estados mediante protocolos en toda la red [115].
- Nube (*Cloud*): Arquitectura basada en la nube, que utiliza proveedores de nube (*cloud*) para implementar sus componentes de software.
- Microservicios (*Microservices*): Este estilo arquitectónico estructura una aplicación como una colección de servicios acoplados libremente, que implementan capacidades de negocios. La arquitectura de microservicios permite la entrega/implementación continua de aplicaciones grandes y complejas con un nivel definido de modularidad [116].

- Otros (*Others*): Otras arquitecturas que incluyen esquemas de funcionamiento/operación y organización de la información, pero no siguen un estilo o patrón conocido o extendido en su adopción.

La Tabla 11 sintetiza los resultados del mapeo sistemático. En la primera columna se encuentra el estilo arquitectónico utilizado o la combinación de ellos; en la segunda columna el número de artículos que utilizan ese estilo arquitectónico o combinación de ellos; en la tercera columna el porcentaje; y en la cuarta columna los artículos que los proponen.

Tabla 11: Número y porcentaje de artículos por estilo o patrón arquitectónico

Estilo Arquitectónico, patrón o combinación de ellos.	Número de artículos	Porcentaje	Artículos
Layers	13	24,07%	[117], [6], [27], [62], [118]–[126]
SOA	10	18,52%	[9], [44], [112], [127]–[133]
Others	8	14,81%	[31], [57], [134]–[139]
REST	3	5,56%	[17], [140], [141]
REST – Layers	3	5,56%	[63], [142], [143]
Cloud	3	5,56%	[144]–[146]
REST – Client/Server	2	3,70%	[147], [148]
SOA – Layers	2	3,70%	[149], [150]
Client/Server	2	3,70%	[151], [152]
REST – Cloud	1	1,85%	[8]
REST– Client/Server – Layers	1	1,85%	[153]
SOA – Layers – Cloud	1	1,85%	[154]
SOA - Cloud	1	1,85%	[155]
SOA - Client/Server	1	1,85%	[113]
Client/Server – Layers	1	1,85%	[10]
Layers - Cloud	1	1,85%	[156]
Layers – Microservices	1	1,85%	[157]

La Figura 11 presenta la distribución de mayor a menor por tipo de arquitectura utilizada. Los de patrones o estilos de arquitectura más utilizadas que son el patrón arquitectónico *Layers* con un 24,07% y el estilo arquitectónico *SOA* con un 18,52%; mientras que se usan en menor media las combinaciones de *REST – Cloud*, *REST– Client/Server – Layers*, *SOA – Layers – Cloud*, *SOA - Cloud*, *SOA - Client/Server*, *Client/Server – Layers*, *Layers - Cloud* y *Layers – Microservices* con un 1,85%,

Figura 11: Estilo o patrón arquitectónico, o su combinación

La Figura 12 muestra el diagrama de burbujas que muestra el número de artículos y porcentaje de que representa el estilo o patrón arquitectónico (columnas) por cada tipo de REA (filas).

Figura 12: Diagrama de burbujas de estilos y patrones arquitectónicos o su combinación

De los datos obtenidos y respondiendo la pregunta de investigación planteada respecto a estilos arquitectónicos propuestos y patrones utilizados en la bibliografía base, se destaca:

- El uso de patrones y estilos arquitectónicos de todos los artículos de mayor a menor son *Layers*, *SOA*, *REST*, *Client-server* y *Microservices*.
- Los estilos arquitectónicos de mayor a menor en LO son *Services* 66,67%, *Layers* 33,33%, y 11,11% *Client/Server*.
- Los estilos arquitectónicos de mayor a menor en REA son *Layers*, *REST*, *Cloud* y *Client-server*.
- Los estilos arquitectónicos de mayor a menor en OCW son *Layers*, *Client-server*, *REST* y *SOA*.
- Los estilos arquitectónicos de mayor a menor en MOOC son *Layers*, *SOA*, *Cloud*, *REST*, *Client-server* y *Microservices*.
- Existe una tendencia a utilizar estilos arquitectónicos combinados que representa el 27,78% de los estilos arquitectónicos encontrados.
- El uso de patrones arquitectónicos es mínimo, únicamente 6 artículos los incluyen [112], [125], [128], [142], [143], [157], lo que representa el 11,11% de los estudios primarios.

- Los artículos que incluyen referencia a patrones mencionan utilizar el *modelo vista controlador (MVC)* y *broker*. El 88,89% de las propuestas no incluyen patrones arquitectónicos.
- El uso de patrones de diseño es incipiente únicamente un artículo [44] que representa el 1,85% de los estudios primarios, propone el uso de tres de ellos *Factory*, *Proxy* and *Serializer*. El 98,15% de las propuestas no incluyen patrones de diseño.

PI2: ¿Qué elementos arquitectónicos componen los sistemas/plataformas REA?

El estudio sistemático permitió identificar 17 componentes arquitectónicos propuestos en los artículos. En algunos casos el nombre con el que se denominan al mismo componente varía, luego se ha seleccionado un nombre lo suficientemente genérico como para que unifique la terminología utilizada. A continuación, se detallan el nombre y la definición de los 17 componentes identificados:

- Almacenamiento (*Storage*): Incluye repositorios, espacios de almacenamiento y bases de datos relacionales, no relacionales o semánticas.
- Interfaz de usuario (*User interface UI*): Incluye las diferentes interfaces de gestión de usuarios, cursos, estudiante, profesor, administrador y otros.
- Comunicación (*Communication*): Incluye los diferentes medios de comunicación entre las aplicaciones API, protocolos, puertos y otros.
- Servicios (*Services*): Incluye los servicios que provee o consume la arquitectura principalmente relacionados con la gestión en este tipo de plataformas como son: gestión de contenidos, gestión de usuarios, gestión de estructura, gestión de actividades, gestión de contexto entre otras.
- Sistema de gestión de contenido (*Content management system CMS*): Incluye sistemas para la gestión de contenidos CMS, sistemas para gestión de aprendizaje LMS, plataformas para REA, OCW o MOOC
- Seguridad (*Security*): Incluye principalmente seguridad de acceso, autenticación.
- Motor semántico (*Semantic engine*): Incluye contenido semántico como RDF, ontologías y componentes semánticos presentes en la arquitectura, como bases de datos semánticas.
- Motor de búsqueda (*Search engine*): Motor de búsqueda básica o avanzada.
- Componentes o herramientas sociales: Incluye elementos y herramientas para compartir contenido social.
- Recomendador (*Recommender*): Componente de recomendación de recursos o interfaces.
- Lógica de Negocio (*Bussiness Logic*): Componente que gestiona la lógica del software, basado en estándares o dominios definidos.
- Orquestador (*Orchestrator*): Componente coordinador de servicios.
- Componentes para trabajo colaborativo (*Component for collaborative work*): Componentes que permiten desarrollo de actividades colaborativas foros, chats, wikis entre otros.
- Analítica (*Analytics module*): Componente para el análisis de los datos de usuario, de aprendizaje, etc.
- Evaluación (*Assessment*): Componente de evaluación para acreditación, certificación de los usuarios, valoración de los contenidos almacenados y otros.
- Notificaciones (*Notifications*): Componente de comunicación mediante SMS o e-mail con los usuarios.

- Motor de adaptación (*Adaptive engine*): Componente para personalización del aprendizaje.

En la Tabla 12 se muestra los componentes ordenados de mayor a menor por frecuencia de artículos que los mencionan y el porcentaje que representan. Por otro lado, la Figura 9 muestra de mayor a menor los componentes identificados en cuanto a número.

Tabla 12: Número y porcentaje de estudios primarios que incluyen un componente

Componente Arquitectónico	Número de artículos	Porcentaje
Almacenamiento	51	94,44%
Interfaz de usuario (UI)	39	72,22%
Comunicación	33	61,11%
Servicios	32	59,26%
Sistema de gestión de contenido	25	46,30%
Seguridad	20	37,04%
Motor de búsqueda	17	31,48%
Motor semántico	16	29,63%
Componentes o herramientas sociales	14	25,93%
Recomendador	12	22,22%
Lógica y reglas de negocio	11	20,37%
Orquestador	10	18,52%
Componentes para trabajo colaborativo	10	18,52%
Analítica	6	11,11%
Evaluación	6	11,11%
Notificación	3	5,56%
Motor de adaptación	3	5,56%

Los datos de la Tabla 12 de forma más ilustrativa se muestran en la Figura 13.

Figura 13: Componentes arquitectónicos

La Figura 14, muestra el diagrama de burbujas que muestra el número de artículos que proponen el componente arquitectónico (columnas) por cada tipo de recursos educativos abiertos (filas).

Figura 14: Diagrama de burbujas de los componentes arquitectónicos por tipo de REA

De los datos obtenidos y respondiendo la pregunta de investigación planteada respecto a los componentes arquitectónicos propuestos en la bibliografía base, se destaca:

- Los cinco componentes arquitectónicos más utilizados en promedio en los artículos son: *Storage* 94,44%, *User interface (UI)* 72,22%, *Communication* 61,11%, *Services* 59,26%, *Content management system (CMS)* 46,30%. Por otro lado, aquellos con menos del 45% en el orden y porcentajes que se observa en la Tabla 12, se encuentran *Security or authentication*, *Semantic engine*, *Search engine*, *Social components or tools*, *Recommender*, *Business logic or domain rules*, *Orchestrator component for collaborative or cooperative work*, *Assessment*, *Analytics*, *Notifications*, *Adaptive engine*.
- En los LO los cinco componentes que mayormente se utilizan son *Storage* y *Communication* con el 88,89%, *Services* 77,76% y *User interface* 55,56%

- En el caso de los REA los componentes presentes en más del 50% de los artículos son *Storage* 94,44%, *User interface* 72,22%, *Semantic engine* 61,11%, *Services* y *Communication* 50%
- En el caso de los *open courseware* únicamente dos componentes que se mencionan más del 50%, que son *Storage* 87,50% y *User interface* 75%.
- En el caso de los MOOC, los cinco componentes mayormente presentes son *Storage* 100%, *Communication* 73,91%, *User interface* 69,57%, *CMS* 69,57% y *Services* 65,22%.

PI3: ¿Qué características funcionales y no funcionales han sido consideradas en los sistemas/plataformas REA?

El estudio permitió identificar las características no funcionales y funcionales consideradas en las propuestas de los estudios primarios. Iniciando por los no funcionales, se ha decidido realizar el estudio en base a las categorías de la norma ISO 9126 para la evaluación de calidad de software. La Tabla 13, muestra los estudios clasificados según esta norma, y se ha agregado una categoría adicional “Otras” para agrupar aquellas características que se encontraron y que no son parte de la norma.

Tabla 13: Características no funcionales

Categorías de las no funcionales		Características	Número de artículos	Porcentaje
ISO 9126	Funcionalidad	<i>Interoperability</i>	14	25,93%
		<i>Security</i>	8	14,81%
		<i>Accuracy</i>	6	11,11%
		<i>Suitability</i>	1	1,85%
	Confiabilidad	<i>Reliability</i>	4	7,41%
		<i>Fault Tolerance</i>	2	3,70%
	Usabilidad	<i>Usability</i>	8	14,81%
		<i>Attractiveness</i>	2	3,70%
		<i>Learnability</i>	0	0,00%
	Eficiencia	<i>Efficiency</i>	7	12,96%
		<i>Time behavior</i>	2	3,70%
	Mantenibilidad	<i>Stability</i>	4	7,41%
	Portabilidad	<i>Portability</i>	3	5,56%
		<i>Adaptability</i>	2	3,70%
Otras		<i>Quality</i>	14	25,93%
		<i>Accessibility</i>	13	24,07%
		<i>Performance</i>	13	24,07%
		<i>Reusability</i>	11	20,37%
		<i>Availability</i>	6	11,11%
		<i>Scalability</i>	5	9,26%
		<i>Persistence</i>	4	7,41%
		<i>Response time</i>	4	7,41%
		<i>Cost development</i>	2	3,70%

La Figura 15, muestra el porcentaje de cada una de las características no funcionales identificadas en los diferentes estudios seleccionados.

Figura 15: Número de características no funcionales

Por otro lado, las características funcionales presentes en los estudios primarios son diversas y dispersos, razón por la cual se han categorizado tomando en consideración lo mencionado en [32] respecto a la estandarización de las tecnologías de aprendizaje propuestas por instituciones como IEEE, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos o la Industria de la Aviación, y están orientados a: la estructura de contenido, registros y perfiles de aprendices, etc.

Las categorías definidas para el trabajo y las funcionalidades que agrupan se mencionan a continuación:

- **Gestión de contenido:** Esta es la categoría funcional más común en las arquitecturas propuestas. Esta categoría recoge como funcionalidades básicas: la gestión CRUD (*create, read, update y delete*) de contenidos en la base de datos, la gestión de *Metadata, Search content, Customize content, Share content, Content harvest, Recommendate, Advance search, Content package and Ranking content*. Los tipos de contenido principalmente incluyen *texto, video, audio, example, picture or figure, and pedagogic information*.
- **Gestión de la estructura:** Esta categoría funcional recoge las funciones básicas CRUD de los elementos que estructuran el contenido en este tipo de plataformas como cursos, capítulos, secciones o ítems.
- **Gestión de usuarios:** Esta categoría funcional recoge las funciones básicas CRUD de los diferentes tipos de usuarios que se pueden dar en este tipo de plataformas.

En este estudio se han identificado los siguientes tipos de usuarios: estudiante, profesor, tutor y administrador.

- Gestión de actividades: Esta categoría funcional recoge las funciones básicas CRUD de las diferentes actividades disponibles en las plataformas REA, entre ellas: *Problem-solving, Exercises, Experiments, Assesment, Evaluations test, Questionaries, Peer evaluation, Discution, Authoring, Discussion, Blog, Chat, Wiki, Forum, y Social network*.
- Gestión de contexto: Esta categoría funcional se enfoca en aspectos del contexto que deben considerarse, como por ejemplo proporcionar planificación y asesoramiento a los estudiantes.
- La categoría “Otros” incluye funcionalidades que no son parte de las categorías mencionadas anteriormente y que se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14: Número de artículos y porcentaje de características funcionales

Tipos de características funcionales	Característica	Número de artículos	Porcentaje
Gestión de contenido	<i>Metadata</i>	33	61,11%
	<i>Read content</i>	33	61,11%
	<i>Create content</i>	30	55,56%
	<i>Search content</i>	25	46,30%
	<i>Customize content</i>	16	29,63%
	<i>Share content</i>	12	22,22%
	<i>Content harvest</i>	9	16,67%
	<i>Recommend</i>	9	16,67%
	<i>Update content</i>	6	11,11%
	<i>Delete content</i>	6	11,11%
	<i>Advance search</i>	6	11,11%
	<i>Content package</i>	6	11,11%
	<i>Ranking content</i>	3	5,56%
Gestión de estructura		20	37,04%
Gestión de usuarios y perfiles		18	33,33%
Gestión de actividades		19	35,19%
Gestión de contexto		1	1,85%
Otros	<i>Grade tracking</i>	18	33,33%
	<i>Sequence or workflow</i>	15	27,78%
	<i>Authentication</i>	10	18,52%
	<i>Analytics</i>	7	12,96%
	<i>Accreditation</i>	4	7,41%
	<i>Translate</i>	3	5,56%
	<i>Notification</i>	3	5,56%
	<i>Gamification</i>	1	1,85%
	<i>Report</i>	1	1,85%

Con el objetivo de identificar aquellas características comunes y variables, es necesario saber con qué frecuencia se han considerado en las arquitecturas de este tipo de sistemas. La Tabla 14, muestra de mayor a menor por frecuencia de aparición de las características funcionales identificadas y agrupadas por las categorías descritas previamente, el número de artículos que incluyen la característica, y el porcentaje que representan dentro de los 54 artículos seleccionados.

Las Figura 16, Figura 17 y Figura 18, muestran la representatividad en porcentajes de las categorías de las características funcionales identificadas en el mapeo, aquellas características que se encuentran dentro de la categoría Gestión de contenido y dentro de la categoría otros, respectivamente.

Figura 16: Categorías de las características funcionales

De los datos obtenidos y respondiendo la pregunta de investigación planteada respecto a las funcionalidades incluidas en los artículos mapeados, se destaca:

- El mayor porcentaje de características identificadas en arquitecturas software para REA corresponde a características funcionales como se observa en la tabla VI donde la característica con mayor porcentaje representa el 61,11% de los artículos, mientras que la no funcional característica con mayor porcentaje representa únicamente 25,91% como se observa en la Tabla V.
- Las características no funcionales de arquitecturas software para REA con mayor representatividad en los artículos son: *Interoperability and quality* con 25,93%, *Accessibility and performance* 24,07%, *Reusability* con 20,37%, y *Usability y security* 14,81%.
- Las características funcionales de arquitecturas software para REA con mayor presencia en los artículos mapeados son: *Metadata y read content* con 61,11%, *Create content* 55,56%, *Search content* 46,30%, *Structure management* 37,04%, *Activity managment* 35,19% y *User management* 33,33%.
- La mayoría de las características no funcionales propuestas están orientadas a MOOC con un total de 49 menciones, seguida por las propuestas para REA con que suman 39.

Figura 17: Funcionalidades de gestión de contenido

Figura 18: Otras características funcionales

PI4: ¿Qué características funcionales y no funcionales para mejorar la accesibilidad y usabilidad han sido aplicadas en las arquitecturas de los sistemas/plataformas REA?

Para realizar el mapeo de las funcionalidades orientadas a la accesibilidad y usabilidad en arquitecturas software presentes en la literatura, se tomó como base las funcionalidades de accesibilidad web propuestas por W3C estándar Web content accessibility guidelines WCAG 2.0 [73] (ver apartado 2.4). Sin embargo, se consideraron únicamente los 38 criterios para obtener nivel AA con el objeto de enfocar el trabajo y alienarlo al estándar europeo de [158], para aplicaciones web.

Para usabilidad se utilizó como referencia las funcionalidades de usabilidad de software propuesta por [159] que incluyen *Feedback*, *Undo cancel*, *User input errors prevention/correction*, *Wizard*, *User profile*, *Help*, *Command agregation*, *Shortcuts*, *Reuse information*, así como Sirius [81] (ver apartado 2.4). En el estudio se consideraron únicamente aquellos con prioridad crítica y media alta para sitios web de educación, siendo 24 criterios los que se encuentran dentro de ese rango.

Se ha buscado los elementos mencionados en los estudios primarios, sin embargo los hallazgos han sido muy puntuales en tres artículos [132], [136], [138]. La Figura 19 muestra el gráfico de burbujas del mapeo realizado.

Figura 19: Diagrama de burbujas de funcionalidades para accesibilidad y usabilidad por cada tipo de REA

De los datos obtenidos y respondiendo la pregunta de investigación planteada respecto a las funcionalidades de accesibilidad y usabilidad incluidas en las arquitecturas software para REA en los artículos mapeados, se destaca:

- Los artículos que mayor porcentaje de propuestas realizan respecto a funcionalidades para mejorar la accesibilidad y usabilidad desde arquitecturas software están orientadas a REA seguidas por propuestas para MOOC.
- Las propuestas de accesibilidad representan el 16,67% del total, mientras las de usabilidad únicamente 3,59%.
- Las propuestas que incluyen funcionalidades orientadas a accesibilidad y usabilidad, representan únicamente el 3,59% de los artículos mapeados.
- Las funcionalidades identificadas orientadas a accesibilidad y usabilidad fueron *Large Font*, *High contrast*, *Clear label*, *Uniform navigation menú*, *Language Bar*, *Disability profile bar*, *Blindness*, *Deafness*, *Simplify*, *Motor skills*, *Low vision* and *Error message*.

3.5 Análisis de los resultados

Aunque el auge de los recursos educativos abiertos a nivel mundial es indudable tal y como se mencionaba en la introducción. Este estudio muestra que hoy en día existe poca bibliografía referente a arquitecturas software para recursos educativos abiertos describiendo elementos básicos como los estilos arquitectónicos, componentes de software o patrones arquitectónicos. Esto mismo ocurre con la investigación de REA en líneas de producto. A pesar de que las plataformas REA pertenece a un mismo dominio, y tal como han demostrado las líneas de producto software, las arquitecturas software de un mismo dominio comparten componentes y funcionalidades comunes que permiten reutilizarlas para luego explotar la variabilidad de cada plataforma, no hay apenas investigación en establecer una línea de producto software que sirva como marco de referencia para la construcción de REA. Concretamente se identificaron 2 trabajos de los 54 artículos que hicieran referencia a las líneas de producto software, es decir, el 3,7%. Pero, sin embargo, ninguno de los dos propone una línea de producto software para el dominio de los REA.

Otro aspecto importante del estudio se centra en el rigor y relevancia de los artículos encontrados respecto a arquitecturas de software en promedio más del 72,5% de las propuestas de arquitecturas software para REA, tienen un rigor y relevancia menor al 50%. Esto muestra que es un área de investigación poco madura, en la que todavía hay mucho que investigar y demostrar con resultados empíricos, así como aplicar los resultados a contextos reales.

Por lo tanto, para definir un primer arquetipo se estableció como criterio para determinar si una componente es común que la componente se encuentre en la arquitectura de al menos el 50% de los estudios primarios mapeados que se listaron en la Tabla 10. El porcentaje de presencia de los componentes en los estudios primarios se mostró en la Tabla 12. Los componentes comunes fueron almacenamiento, interfaz de usuario, comunicación y servicios. Por otro lado, los componentes presentes en menos del 50% de los estudios primarios se consideran componentes variables. componentes son CMS, seguridad, motor de búsqueda, motor semántico, componentes o herramientas sociales, recomendación, lógica o reglas de negocios, orquestador, componente para trabajo colaborativo o cooperativo, análisis, evaluación, notificaciones y motor de adaptación. La Figura 20 muestra los componentes comunes en recuadros con fondo gris y los variables en recuadros sin fondo, en una notación básica de capas.

Figura 20: Diagrama de capas de los componentes software para plataformas REA

Otro elemento importante que se ha identificado son las características (*features*) que en el contexto del software corresponden a los requisitos funcionales y no funcionales para un sistema, en este caso para plataformas de REA, aquellas *features* funcionales fundamentales para este tipo de plataformas son aquellas asociadas a la gestión de contenidos presentes en promedio en más del 60% de los artículos mapeados, otras *features* funcionales importantes a considerar por su presencia en un rango del 30 al 40% de los artículos mapeados son: *Structure Management*, *Activity management*, *User or profile management*; finalmente aquellos presentes en menos del 30% de los artículos esta la gestión de contexto y otro tipo de funcionalidades que no entran en las categorías mencionadas.

Con respecto a las *features* no funcionales se consideran fundamentales aquellas que son parte de la definición de REA entre ellas *Accessibility*, *Usability*, *Reusability* and *Interoperability*, otras encontradas en la literatura con presencia de mayor a menor

porcentaje son: *Quality, Performance, Security, Efficiency, Availability, Accuracy, Scalability, Persistene, Response time, Reliability, Stability, Portability, Adaptability, Fault tolerance, Cost development, Time behavior, Suitability.*

Sobre la base de las *features* no funcionales este trabajo se ha centrado en la accesibilidad y usabilidad por considerarlas fundamentales para lograr el propósito de los REA, que es brindar acceso al conocimiento universal. Sin embargo, se evidencia un vacío en cuanto a *features* no funcionales asociadas a características fundamentales como lo son la accesibilidad y usabilidad en plataformas software de recursos educativos abiertos, ya que en la revisión bibliográfica se encontraron muy pocos trabajos que las mencionen explícitamente y asociadas a arquitecturas software. Por lo tanto, se evidencia la necesidad de investigar en este campo.

Capítulo 4: AUREA. Un marco de trabajo para la evaluación, construcción y mejora de plataformas de Recursos Educativos Abiertos (OCW y MOOC) orientadas a la Accesibilidad y Usabilidad

Con decenas de Universidades a nivel mundial apostando por iniciativas de Recursos Educativos Abiertos (REA) con el propósito de hacer avanzar el conocimiento universal, este tipo de recursos y sus plataformas siguen siendo un campo de gran expectativa y posibilidades.

El presente capítulo describe un marco de trabajo (*framework*) para evaluar y mejorar la accesibilidad y usabilidad de plataformas REA existentes o para crear nuevas plataformas REA accesibles y usables. Para hacer frente a estos dos propósitos, el framework, llamado AUREA (Accesibilidad y Usabilidad de Recursos Educativos Abiertos) se basa en estándares de accesibilidad y usabilidad internacionalmente aceptados, tanto para definir una metodología de evaluación, como para dar soporte a un proceso de construcción basado en ingeniería de líneas de productos software.

4.1 AUREA (Accesibilidad y Usabilidad para REA)

Para resolver el problema planteado en el apartado 1.1 respecto al bajo nivel de acceso y uso de los REA en contexto reales, esta tesis propone AUREA, un marco de referencia que pretende a través de la mejora de atributos como la accesibilidad y usabilidad de los sistemas REA incrementar el acceso y uso de este tipo de plataformas y recursos. Este apartado describe AUREA, el cual tiene dos propósitos y componentes principales, que se describen a continuación:

1. Evaluación de la accesibilidad y usabilidad de plataformas REA: Con el propósito de evaluar y proponer mejoras accesibilidad y usabilidad en sistemas o plataformas REA existentes, se propone un marco de evaluación basado en los estándares de accesibilidad y usabilidad existentes descritos en el capítulo 2. Concretamente, este marco de evaluación se basa en (i) el estándar ISO 40500 correspondiente a los principios de accesibilidad de *Web Content Accessibility Guidelines* WCAG 2.0 para asegurar la accesibilidad del sitio y (ii) las medidas de usabilidad propuestas por ISO (ISO/IEC, 1998) con el objetivo de cubrir ambos requisitos en su más amplio espectro. Este marco de evaluación definido permite identificar los potenciales problemas de accesibilidad y usabilidad en una plataforma REA, así como posibilidades de solución o mejora. Por otro lado, para la aplicación del marco se propone una metodología de evaluación basada en la metodología *Web Content Accessibility Guidelines Evaluation Methodology* WCAG-EM que se describen en este capítulo, apartado 4.2.

2. Construcción de plataformas REA sensibles a la accesibilidad y usabilidad: Con el propósito de crear de sitios o plataformas REA accesibles y usables, se define una línea de producto software que incluye el análisis de dominio componentes fijos y variables de un sistema o plataforma REA, el modelo de variabilidad para crear nuevos sitios con niveles de accesibilidad y usabilidad establecidos (ver capítulo 5).

La Figura 21 muestra una representación gráfica de dos componentes principales del marco de AUREA, que se describen el primero en el apartado 4.2 y el segundo en el capítulo 5 respectivamente.

Figura 21: AUREA: Marco de Referencia de Mejoras de Accesibilidad y Usabilidad de sitios REA

Los componentes del marco propuesto se fusionan con el propósito de cubrir las dos posibilidades identificadas para la inclusión de accesibilidad y usabilidad en las plataformas REA en plataformas existentes y en plataformas nuevas, la relación se establece en dos vías, la primera vía donde el primer componente de evaluación y mejora esta enfocado en las plataformas REA existentes, permite obtener una valoración cuantitativa y cualitativa de su nivel de accesibilidad y usabilidad proporcionando un listado de los errores encontrados, así como las mejoras a incorporar en las plataformas para mitigar los errores identificados; adicional el listado de errores y mejoras proporcionado por este componente puede ser considerado un insumo para decidir si es más conveniente implementar las mejoras o crear una nueva plataforma REA. Para esta segunda posibilidad el marco proporciona el segundo componente de creación de plataformas REA accesibles y usables donde se define una línea de producto software y una arquitectura base que proporciona los componentes esenciales a considerar por los tomadores de decisiones, ingenieros y desarrolladores para el diseño y construcción de este tipo de plataformas. La segunda vía de desarrollo se da, cuando se ha decidido crear una nueva plataforma REA utilizando el segundo componente de creación basado en la SPL se puede aplicar el primer componente para evaluar su nivel de accesibilidad y usabilidad es la plataforma actual y la mejora producida con respecto a la versión anterior. Es así que el marco AUREA cubre dos fases fundamentales de la ingeniería del software: el desarrollo de software y el mantenimiento software, el segundo

componente de creación basado en SPL da sustento al desarrollo, mientras que la metodología de evaluación, al mantenimiento.

4.2. Evaluación y Mejora de Accesibilidad y usabilidad para sistemas o plataformas REA

Con el propósito de realizar la evaluación y mejora de accesibilidad y usabilidad en sistemas o plataformas REA, se propone un marco de referencia que integra varios elementos que se representan en la Figura 22 como un proceso con sus entradas y salidas. Concretamente, se distinguen 3 entradas: (i) los sitios o plataformas REA, (ii) las métricas de evaluación de accesibilidad y usabilidad para la evaluación cuantitativa que se describen en el apartado 4.2.1, y (iii) el marco de mejoras de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA que se describe en el apartado 4.2.2. El proceso de aplicación de las métricas y el marco de mejoras que se realiza a través de la Metodología de evaluación de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA que se aborda en el apartado 4.2.3 consta de 5 pasos. Este proceso proporciona dos salidas: (i) una evaluación cuantitativa, proporcionando un porcentaje de accesibilidad y usabilidad de los sitios REA, y (ii) una evaluación cualitativa generando un listado de los problemas detectados en la evaluación y sus posibles soluciones, basadas en el Marco de mejoras de accesibilidad y usabilidad que a su vez retroalimentan el Marco de mejoras inicial el proceso se describe en el apartado 4.2.4.

Figura 22: Marco de evaluación de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA

4.2.1 Metodología de Evaluación de Accesibilidad y Usabilidad para plataformas REA

La metodología de evaluación de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA, tiene como propósito obtener una valoración cuantitativa (medición) de la accesibilidad y usabilidad de sitios REA. Para ello, para su definición se tomó como referencia la metodología y guías propuestas por el consorcio de internet W3C en su iniciativa Web Accessibility Initiative WAI, denominada metodología de evaluación WCAG-EM 1.0. La metodología de evaluación WCAG-EM 1.0 presenta las siguientes ventajas:

- Está orientada a la evaluación de la accesibilidad usando las WCAG 2.0 y sus recursos de apoyo.
- Diseñada principalmente para evaluar los sitios web existentes.

- Es una metodología adaptable a diferentes contextos de evaluación, incluyendo la auto evaluación y la evaluación por terceros.

Es así que la metodología para evaluación de accesibilidad y usabilidad de plataformas REA consta de los 5 pasos definidos por WCAG-EM 1.0, con algunos ajustes y lineamientos definidos específicamente al contexto de las plataformas REA. La Figura 23 muestra la secuencia de los pasos a seguir para realizar la evaluación y a continuación se describen específicamente cada uno de ellos:

Figura 23: Metodología de evaluación de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA

Paso 1: Definir el alcance y objetivo de la evaluación

Durante este primer paso el evaluador debe definir el alcance general de la evaluación, por ejemplo, evaluar la accesibilidad y usabilidad; así como el tipo de sitio web objeto de la evaluación de acuerdo al ámbito de aplicabilidad, para este caso la evaluación estará limitada a las plataformas REA que es un tipo de sitio web educativo formativo. Un ejemplo de este paso sería definir como objeto de evaluación el sitio web de la iniciativa *Open CourseWare* del MIT, con el propósito de determinar cuantitativamente el nivel de accesibilidad y usabilidad.

Paso 2: Explorar el sitio web a evaluar

En esta etapa el evaluador debe explorar el sitio web objetivo para su evaluación, para desarrollar una comprensión inicial de la página web y su uso, el propósito y la funcionalidad. Durante este paso también se deben identificar los tipos de páginas web que contiene el sitio, su funcionalidad esencial, las páginas comunes, las tecnologías web involucradas, consideraciones de accesibilidad, entre otras, para el caso de la plataforma REA tomada como ejemplo el OCW del MIT se puede identificar una página principal, página de noticias, página para cada curso y páginas de cada recurso del curso.

Paso 3: Seleccionar una muestra representativa

En esta etapa el evaluador debe seleccionar una muestra de páginas representativa de la plataforma REA considerada como objeto de evaluación. El propósito de esta selección es asegurar que los resultados de la evaluación reflejen la accesibilidad y usabilidad del

sitio web con confianza razonable. Para ello se ha de tener en cuenta algunos factores que influyen en la selección del tamaño de la muestra son: tipo, tamaño, antigüedad, complejidad, consistencia, proceso de desarrollo de la página web. El proceso de muestreo puede ser estructurado o al azar. El muestreo estructurado consiste en seleccionar sitios considerando algunos o todos los factores de la exploración realizada en el paso 2. Por ejemplo, evaluar la página principal y las páginas de los cursos; mientras que el muestreo al azar selecciona las partes del sitio web aleatoriamente. Otro aspecto a considerar es si se van a incluir parte o todas las páginas de los sitios seleccionados.

Paso 4: Auditoría de la muestra

En este paso el evaluador deberá realizar la auditoría a la muestra de páginas web seleccionadas en el Paso 3. Para ello, se deben utilizar los dos tipos de evaluaciones, automática y manual, para cuantificar la accesibilidad y usabilidad presentadas en el apartado 4.2.1. De este modo se consigue proporcionar dos salidas (i) un valor cuantitativo de cada una de las características accesibilidad y usabilidad, y (ii) el plan de mejoras conformado por las soluciones a los problemas o errores que se identifiquen en las plataformas REA basada en el marco de referencia de accesibilidad y usabilidad definido durante la auditoría (ver apartado 4.2.2).

Para aumentar la precisión de los resultados, la metodología aplica la triangulación metodológica y la triangulación de la fuente de datos [160], diferentes métodos para medir el mismo preocupación y múltiples fuentes de datos en ocasiones potencialmente diferentes. Por lo tanto, la metodología que las plataformas no debe ser evaluada tanto automáticamente como manualmente, con los distintos niveles de conocimientos sobre el manejo de OCW. Se describen a continuación:

- En la evaluación de la accesibilidad se consideran los 61 criterios de accesibilidad propuestos por la guía para la accesibilidad de contenidos WCAG versión 2.0.
- En la evaluación de la usabilidad se consideran los 3 atributos eficiencia, eficacia y satisfacción, para evaluar la satisfacción se utilizan los 83 criterios del marco de referencia Sirius propuesto por Suarez et.al [82]

Para aumentar la precisión de los resultados, la metodología aplica la triangulación metodológica y la triangulación de la fuente de datos [160] consiste en aplicar diferentes métodos para medir un mismo elemento y múltiples fuentes de datos en ocasiones potencialmente diferentes. Por tanto, los métodos de evaluación de los sistemas de evaluación las plataformas REA deben ser evaluados utilizando herramientas automáticas e instrumentos para evaluación manual, y utilizando diferentes fuentes es decir diferentes evaluadores.

Paso 5: Informar los resultados de evaluación

La documentación de los resultados para cada uno de los pasos anteriores es esencial para validar la objetividad y credibilidad del proceso de evaluación, así como su réplica y la justificación de cualquier declaración realizada en base a esta evaluación. El resultado es tanto la evaluación de la plataforma REA cuantificada en porcentaje de accesibilidad y usabilidad siguiendo el marco de referencia propuesto, así como la evaluación cualitativa en términos de los problemas/errores detectados y sus posibles soluciones para mejorar la accesibilidad y usabilidad.

4.2.2 Métricas de evaluación de Accesibilidad ISO40500 y usabilidad ISO9241

Con el objeto de proporcionar una base de evaluación cuantitativa del nivel de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA se realizó una revisión bibliográfica de los métodos, metodologías y herramientas para evaluación de la accesibilidad y usabilidad de software, específicamente para aplicaciones web con el objeto de seleccionar aquellos que serían parte de la propuesta de evaluación, algunos de ellos se detallan en el capítulo 2 apartados 2.4 y 2.5.

La Figura 24 muestra una representación gráfica de las metodologías los elementos seleccionados para la evaluación cuantitativa de la accesibilidad y usabilidad para plataformas REA que esta formada por dos componentes principales de medición que son estándares internacionalmente aceptados con el objetivo de cubrir ambos requisitos en su más amplio espectro, y son: (i) Medición de la Accesibilidad con la norma ISO 40500 que abarca los principios de accesibilidad de contenido web versión 2.0 WCAG 2.0 para asegurar la accesibilidad del sitio y (ii) Medición de la Usabilidad mediante las características de usabilidad propuestas por la norma ISO/IEC 9241-11 en 1998, y que han sido consideradas también para la evaluación de la calidad de uso ISO 25022-, 2016. Estos dos estándares son la entrada y punto de partida de dicha evaluación, y dentro de la metodología de evaluación de AUREA (ver Figura 24), también se utilizarán una serie de herramientas que se basan en dichos estándares para medir la accesibilidad y la usabilidad. A continuación, se describen cómo se integra en la evaluación de ambas, la entrada de las métricas de los estándares y las herramientas.

Figura 24: Elementos de evaluación de accesibilidad y usabilidad

4.2.2.1 Evaluación de la Accesibilidad

Para la evaluación de la accesibilidad se utiliza como referencia el estándar ISO 40500 correspondiente a la guía para la accesibilidad de contenidos WCAG versión 2.0 que proporciona lineamientos de evaluación de la accesibilidad de contenidos así como recomendaciones para hacer el contenido Web más accesible para personas con discapacidad, incluyendo la ceguera, baja visión, sordera y pérdida de la audición, problemas de aprendizaje, limitaciones cognitivas, movimiento

limitado, problemas del habla, foto sensibilidad y combinaciones de estos; estas directrices también hacen el contenido Web más útil para los usuarios en general.

Con este propósito se proponen dos tipos de evaluación una automática y otra basada en heurísticas, utilizando un artefacto diseñado para este propósito

Para la **evaluación automática** esta evaluación tiene por objeto obtener la primera aproximación del nivel de accesibilidad del sitio web, se realiza aplicando herramientas web disponibles que evalúen el estándar de accesibilidad en el que se basa el marco ISO 40500 WCAG 2.0, las herramientas proporcionan errores y advertencias de accesibilidad con su descripción, así como sugerencias para resolverlos se han analizado algunas herramientas existentes para la evaluación del estándar tomado como referencia WCAG 2.0 del listado propuesto por la iniciativa WAI [76] que se describen más a detalle en el capítulo 2 apartado 2.4 y se resumen están disponibles en línea que se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15: Herramientas de evaluación automáticas de accesibilidad web

Herramientas	Descripción
TAW ³	Es una herramienta que permite analizar la accesibilidad de los sitios web, utilizando las pautas de accesibilidad WCAG 2.0 en inglés, español y portugués, cuenta con una trayectoria de 15 años disponible en línea.
AChecker ⁴	Esta herramienta en línea que evalúa la accesibilidad web de un sitio en línea en base a una variedad de directrices de accesibilidad, entre ellas WCAG 1.0 y WCAG 2.0

Para la **evaluación manual** basada en se propone utilizar el artefacto propuesto en la Tabla 16 que muestra una síntesis del estándar ISO 40500 que incluye 61 criterios de éxito para accesibilidad, organizados en las 12 guías y 4 principios de accesibilidad definidos por el estándar, así como el nivel de accesibilidad al que corresponde cada uno de los criterios utilizando la escala de niveles de conformidad A, AA y AAA, donde A es el nivel básico y AAA es el nivel más alto de accesibilidad (ver capítulo 2 apartado 2.4). Esta síntesis es un artefacto a ser utilizado como un check list para medir el nivel de accesibilidad de cualquier sitio web.

Tabla 16: Criterios de evaluación de accesibilidad ISO 40500

1	Perceivable	
1.1	Text Alternative	
1.1.1	Non text content	A
1.2	Time based media	
1.2.1	Pre-recorded audio and video	A
1.2.2	Captions (pre-recorded)	A

³ TAW, www.tawdis.net

⁴ AChecker, <http://achecker.ca/checker/index.php>

1.2.3	Audio description or Media alternative	A
1.2.4	Captions for audios	AA
1.2.5	Audio description for Video	AA
1.2.6	Sign language	AAA
1.2.7	Extended audio	AAA
1.2.8	Media alternative	AAA
1.2.9	Audio only	AAA
1.3	Adaptable	
1.3.1	Info and relationships	A
1.3.2	Meaningful sequence	A
1.3.3	Sensory characteristics	A
1.4	Distinguishable	
1.4.1	Use of color	A
1.4.2	Audio Control	A
1.4.3	Contrast minimum	AA
1.4.4	Resize text	AA
1.4.5	Images of text	AA
1.4.6	Contrast Enhanced	AAA
1.4.7	Low and No background audio	AAA
1.4.8	Visual presentation	AAA
1.4.9	Images of text	AAA
2.	Operable	
2.1	Keyboard Accessible	
2.1.1	Keyboard	A
2.1.2	No keyboard trap	A
2.1.3	Keyboard (No exception)	AAA
2.2	Enough Time	
2.2.1	Timing Adjustable	A
2.2.2	Pause, stop, hide	A
2.2.3	No timing	AAA
2.2.4	Interruptions	AAA
2.2.5	Re-authentication	AAA
2.3	Seizures and Physical Reactions	
2.3.1	Three Flashes or Below Threshold	A
2.3.2	Three Flashes	AAA
2.4	Navigable	
2.4.1	Bypass Blocks	A
2.4.2	Page Titled	A
2.4.3	Focus Order	A
2.4.4	Link Purpose (In Context)	A
2.4.5	Multiple Ways	A
2.4.6	Headings and Labels	AA
2.4.7	Focus Visible	AA
2.4.8	Location	AAA
2.4.9	Link Purpose (Link Only)	AAA
2.4.10	Section Headings	AAA
2.5	Input Modalities	
2.5.1	Pointer Gestures	A
2.5.2	Pointer Cancellation	A

2.5.3	Label in Name	A
2.5.4	Motion Actuation	A
2.5.5	Target Size	AAA
2.5.6	Concurrent Input Mechanisms	AAA
3	Understandable	
3.1	Readable	
3.1.1	Language of Page	A
3.1.2	Language of Parts	AA
3.1.3	Unusual Words	AAA
3.1.4	Abbreviations	AAA
3.1.5	Reading Level	AAA
3.1.6	Pronunciation	AAA
3.2	Predictable	
3.2.1	On Focus	A
3.2.2	On input	A
3.2.3	Consistent Navigation	AA
3.2.4	Consistent Identification	AA
3.2.5	Change on Request	AAA
3.3	Input Assistance	
3.3.1	Error Identification	A
3.3.2	Labels or Instructions	A
3.3.3	Error Suggestion	AA
3.3.4	Error Prevention (Legal, Financial, Data)	AA
3.3.5	Help	AAA
3.3.6	Error Prevention (All)	AAA
4.	Robust	
4.1	Compatible	
4.1.1	Parsing	A
4.1.2	Name, Role, Value	A

4.2.2.2 Medición de la Usabilidad

Para la evaluación de la usabilidad se utiliza como marco general la norma ISO 9241-11 que define la usabilidad de un producto mediante tres características: eficacia, eficiencia y satisfacción. Es así que al igual que la accesibilidad, para la medición de la usabilidad se propone realizar una medición automática para las características de eficacia y eficiencia se propone medir utilizando las herramientas web que se muestran en la Tabla 17, que si bien no proporcionan una valoración cuantitativa su proporciona datos que permiten identificar Errores a los cuales solucionar para incrementar el nivel de usabilidad del sitio.

Para la medición de la satisfacción se propone un artefacto de medición manual basado en el marco de referencia de Sirius propuesto por Suarez. et. al [82] por ser uno de los más completos y sencillos de comprender y aplicar, Sirius establece una escala del peso a cada aspecto dependiendo de la categoría a la que pertenezca el sitio web en la Tabla 18 se muestra la propuesta de instrumento de evaluación compuesto por 24 criterios de los 83 propuestos por Sirius para evaluar la usabilidad de un sitio categorizados en 8 de los 10 aspectos propuestos, así como la prioridad correspondiente a cada criterio en la categoría de sitio Educativo /

Formativo evaluada en escala: CR – crítico, MA – Muy Alta, ME- Media, el marco completo se describió en el capítulo 2 apartado 2.5.

Tabla 17: Herramientas de evaluación de la eficacia y eficiencia de un sitio web

Atributo ISO 9142-11	Herramienta	Descripción
EFICIENCIA	PageSpeed	Esta herramienta mide el rendimiento y velocidad de carga de un sitio para dispositivos móviles y de escritorio, gracias a un análisis del sitio que como resultado proporciona un conjunto de sugerencias. PageSpeed Insights se basa en un documento de buenas prácticas que abarca tanto a nivel de front-end (carga de imágenes, archivos JavaScript, CSS, etc.) como de configuración de servidor.
EFICACIA	Google analytics	Esta herramienta nos permite obtener informes detallados de las visitas a un sitio web, así como navegador, tipo de dispositivo del que se conectan. Esta herramienta usa un código JavaScript que permite tener acceso a toda la información estadística del sitio.

Tabla 18: Criterios de evaluación de la Usabilidad

Atributo ISO 9142-11	Aspectos	Criterio	Prioridad en sitio Educativo/ Formativo
EFICIENCIA	Evaluación Automática	Evaluación Automática	Evaluación Automática
EFICACIA			
SATISFACCIÓN	ASPECTOS GENERALES	AG1: Objetivos del sitio web concretos y bien definidos	MA
		AG2: Contenidos y servicios ofrecidos precisos y completos	CR
		AG3: Estructura general del sitio web orientada al usuario	MA
		AG6: Diseño general del sitio web coherente	MA
		AG7: Se utiliza el idioma del usuario	MA
		II7: Se ofrece información sobre el autor, fuentes y fechas de creación y revisión del documento en artículos, noticias, informes	MA
	ESTRUCTURA Y NAVEGACIÓN	EN2: Estructura de organización y navegación adecuadas	MA
		EN4: Control del número de elementos y de términos por elemento en los menús de navegación	MA
		EN5: Equilibrio entre profundidad y anchura en el caso de estructura jerárquica	MA
		EN6: Enlaces fácilmente reconocibles como tales	MA

		EN7: La caracterización de los enlaces indica sus estados (visitados, activos)	MA
		EN8: Se ha evitado la redundancia de enlaces	MA
		EN9: Se ha evitado la existencia de enlaces rotos	MA
		EN13: Hay elementos de navegación que orienten al usuario acerca de donde está y cómo deshacer su navegación (migas, pestañas coloreadas)	MA
	LAYOUT DE LA PÁGINA	LA8: La versión impresa de la página es correcta.	MA
		LA9: El texto de la página se lee sin dificultad.	MA
	ENTENDIBILIDAD Y FACILIDAD EN LA INTERACCIÓN	EF1: Se emplea un lenguaje claro y conciso.	MA
	ELEMENTOS MULTIMEDIA	EM2: Fotografías comprensibles	MA
	BÚSQUEDA	BU1: Si es necesaria, se encuentra accesible desde todas las páginas del sitio	MA
		BU4: La caja de texto es lo suficientemente ancha.	MA
		BU5: Sistema de búsqueda simple y claro.	CR
		BU7: Muestra los resultados de la búsqueda de forma comprensible para el usuario.	MA
		BU8: Asiste al usuario en caso de no poder ofrecer resultados para una consultada dada	MA
	AYUDA	AY2: Fácil acceso y retorno al/del sistema de ayuda	ME

A partir de esta tabla y de las formulas de nivel de usabilidad propuestos por Sirius (ver capítulo 2 apartado 2.5) se aplican a un REA concreto y realizan los cálculos para extraer el porcentaje de usabilidad.

4.2.3 Marco de mejoras de la accesibilidad ISO40500 y usabilidad ISO9241 de sistemas o plataformas REA

Otra de las entradas de AUREA es el marco de mejoras de la accesibilidad ISO40500 y usabilidad ISO9241 (ver Tabla 19). Este marco es una guía de mejora que se ha construido en la tesis para dar una recomendación de mejora ante las debilidades que se detecten tras la evaluación cualitativa de un REA en particular. Este marco son soluciones genéricas que se han definido y que tras la aplicación de la metodología de evaluación se seleccionan aquellas que aplican para dar retroalimentación específica en la salida.

Este marco de mejoras de la accesibilidad ISO40500 y usabilidad ISO9241 se ha construido en base a las métricas de evaluación cuantitativa para accesibilidad y usabilidad para plataformas REA definidas en el apartado anterior 4.2.1 descritas en Tabla 16 y Tabla 18. Para su especificación, se realizó un análisis exhaustivo de cada uno de los aspectos que allí se incluyen para identificar los posibles errores u omisiones de los aspectos recomendados, y para cada uno se propone al menos una solución o mejora. Este marco se pretende enriquecer con cada caso de aplicación en el que se use, es así que la primera versión de mejoras fue aplicada como caso de estudio en una plataforma REA, concretamente el sitio de la iniciativa OCW de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) descrito en Rodríguez, et. al [19].

La Tabla 19 muestra el marco de mejoras de la accesibilidad para plataformas REA, que consiste en una ampliación de cada uno de los aspectos de accesibilidad mencionados en la Tabla 16 que como se mencionó anteriormente está basada en el estándar seleccionado ISO 40500 guías de accesibilidad de contenido versión 2.0 de la WAI. El marco para criterio describe los posibles errores, omisiones o conflictos, con al menos una solución o mejora basada en el análisis exhaustivo de cada criterio en un sitio REA, la retro alimentación obtenida en las herramientas automáticas, la experiencia del evaluador y en los casos de aplicación desarrollados.

Tabla 19: Propuesta de mejoras de accesibilidad

	Principio / Guía / Criterio		Posible Error	Propuesta de Solución o mejora
1	Perceivable			
1.1	Alternativa textual			
1.1.1	Contenido no textual	A	Contenido no textual sin texto alternativo dentro del contenido del sitio REA	Incluir texto alternativo a todo contenido no textual
1.2	Time based media			
1.2.1	Audio y video pre grabado	A	Contenido no textual sin texto alternativo dentro del contenido del sitio REA	Incluir texto alternativo a todo contenido no textual
1.2.2	Títulos (pre grabados)	A	Contenido sin títulos	Incluir títulos y sub títulos
1.2.3	Descripción en Audio o alternativa en medios	A	Contenido no textual sin texto alternativo dentro del contenido del sitio REA	Incluir texto alternativo a todo contenido no textual
1.2.4	Títulos para audios	AA	Contenidos del sitio REA sin títulos o sub títulos	Incluir títulos o subtítulos a todo contenido del sitio REA
1.2.5	Descripción de audio para videos	AA	Videos del sitio REA sin audio descripción	Incluir audio descripción para videos que son parte del sitio REA
1.2.6	Lenguaje de signos	AAA	Contenidos del sitio REA sin descripción en lenguaje de signos pregrabado	Incluir descripción en lenguaje de signos pregrabado para el contenido del sitio REA

1.2.7	Audio extendido	AAA	Contenido no textual sin texto alternativo dentro del contenido del sitio REA	Incluir contenido o texto alternativo a todo contenido no textual
1.2.8	Medios alternativos	AAA		
1.2.9	Solo audio	AAA		
1.3	Adaptable			
1.3.1	Información y relaciones	A	Información de estructura y relaciones no personalizable en sitio REA	Dar opción de ajustar mediante programación la estructura de navegación del sitio REA
1.3.2	Secuencia significativa	A	Secuencia del contenido en el sitio REA no significativa	Proporcionar una secuencia de presentación y navegación significativa
1.3.3	Características sensoriales	A	Los contenidos del sitio REA podrían estar centrados en la estética más que en el contenido a transmitir	Validar que el contenido del sitio REA este centrado principalmente en su propósito antes que su estética
1.4	Distinguishable			
1.4.1	Uso del color	A	Utilizar demasiado el color, o con diferentes propósitos en los sitios REA.	Utilizar con moderación el color y para propósitos específicos.
1.4.2	Control del audio	A	Incluir en los sitios REA audios, sin proporcionar al usuario mecanismos para controlarlos.	Proporcionar al usuario el control de los audios presentes en los sitios REA.
1.4.3	Contraste mínimo	AA	Incluir contenidos o imágenes de colores con contraste menor al establecido como mínimo 4,5:1.	Utilizar herramientas en línea para validar que los contrastes de color sean los adecuados ⁵
1.4.4	Cambiar de tamaño el texto	AA	Que exista contenido texto en el sitio REA, con tamaño fijo sin opción a ajustarlo.	Dar opción a que el contenido texto en el sitio REA, sea ajustado.
1.4.5	Imágenes de texto	AA	Utilizar imágenes de texto para propósitos diferentes a los aceptados	Eliminar imágenes de texto donde no sean necesarias. Añadir atributo “Alt” a cada imagen que se encuentre en el sitio.
1.4.6	Contraste mejorado	AAA	Incluir contenidos o imágenes de colores con contraste menor al establecido como mínimo 4,5:1.	Incluir contenidos e imágenes utilizando colores de primer plano con contraste igual o mayor a 7:1
1.4.7	Audio bajo o de fondo	AAA	Incluir contenido audio en el sitio REA con otro propósito a los permitidos: (1) Discurso o (2) CAPTCHA	Eliminar los audio del sitio REA que no tengan como propósito los permitidos: (1) Discurso o (2) CAPTCHA

⁵ <http://accesibilidadweb.dlsi.ua.es/?menu=hr-trabajar-color>

1.4.8	Presentación visual	AAA	Contenido del sitio REA poco entendible en formato.	Ajustar el formato y presentación visual del contenido a las normas establecida: máximo 80 caracteres por línea, texto justificado, interlineado, texto ajustable hasta un 200%
1.4.9	Imágenes de texto	AAA	Imágenes de texto o decorativas sin identificación (atributo title) o propósito en el sitio REA.	Identificar y validar el propósito de las imágenes de texto o decorativas que son parte del sitio REA.
2.	Operable			
2.1	Acceso por teclado			
2.1.1	Teclado	A	Funcionalidades o contenido del sitio REA sin acceso por teclado. Componentes de contenido con ingreso por teclado sin opción de salida por teclado.	Todos los bloques de contenido o funcionalidades deben ser accesibles por teclado.
2.1.2	Sin trampa de teclado	A		
2.1.3	Teclado (sin excepción)	AAA		
2.2	Tiempo suficiente			
2.2.1	Tiempo ajustable	A	Que el sitio REA tenga tiempos establecidos para el contenido o funcionalidades, sin opción de ajustar por parte del usuario.	Dar opción al usuario de ajustar los tiempos establecidos para el contenido o funcionalidades en el sitio REA, si existieran
2.2.2	Pausar, detener, esconder	A	Que el sitio REA contenga información que se mueva, parpadee, se desplace o se actualice automáticamente sin opción a que sea controlada por el usuario.	Dar opción de control al usuario para la información que se mueva, parpadee, se desplace o se actualice automáticamente en el sitio REA.
2.2.3	Sin tiempo	AAA	Que el sitio REA tenga tiempos establecidos para el contenido o funcionalidades.	Eliminar tiempos limitados para contenido o funcionalidades del sitio REA.
2.2.4	Interrupciones	AAA	Que el sitio REA incluya interrupciones que no son de emergencia.	Eliminar cualquier tipo de interrupciones excepto las de emergencia.
2.2.5	Re-autenticación	AAA	Que no exista la opción a re-autenticación al usuario	Dar opción a re-autenticación al usuario
2.3	Parpadeos y reacciones físicas			
2.3.1	Tres destellos o por debajo del umbral	A	Que el sitio REA incluya contenidos con más de tres destellos por segundo	Eliminar contenidos con destellos.
2.3.2	Tres destellos	AAA		

2.4	Navegación			
2.4.1	Bloques bypass	A	No existan en el sitio REA mecanismos para moverse entre bloques de contenido.	Proporcionar al sitio REA componentes como identificación, ubicación de las páginas para mantener el significado y operatividad del usuario en cualquier momento de su navegación-
2.4.2	Página titulada	A	Las páginas y sub páginas del sitio REA no están debidamente identificadas con el atributo title	
2.4.3	Orden en el foco	A	Que el sitio REA no disponga de mecanismos para mostrar la ubicación del usuario en un momento dado.	
2.4.4	Propósito del enlace	A	Los textos de los enlaces que contiene el sitio web no son lo suficientemente descriptivos.	Asegurarse que los textos de los enlaces en el sitio REA sean lo suficientemente descriptivos y no están repetidos.
2.4.5	Múltiples medios	A		
2.4.6	Títulos y etiquetas	AA	Los títulos y etiquetas de las páginas del sitio REA no son descriptivas o pertinentes.	Asegurarse que los títulos y etiquetas de las páginas del sitio REA son descriptivas y pertinentes
2.4.7	Foco Visible	AA	Que no exista un foco visible de la ubicación del usuario en el contenido o funcionalidad del sitio REA.	Proveer un al usuario un foco visible de su ubicación en el contenido o funcionalidad del sitio REA.
2.4.8	Ubicación	AAA	No exista mecanismo de mostrar la ubicación del usuario dentro del sitio REA.	Proporcionar un mecanismo que muestre la ubicación del usuario dentro del sitio REA
2.4.9	Propósito del enlace	AAA	Existan enlaces con el mismo texto que enlazan a páginas diferentes dentro del sitio REA.	Eliminar enlaces con el mismo texto que enlacen a páginas diferentes dentro del sitio REA.
2.4.10	Título de la sección	AAA	Los títulos de las páginas del sitio REA no tienen como propósito organizar el contenido.	Las páginas del sitio REA tienen títulos descriptivos que permiten organizar el contenido.
3.	Comprensible			
3.1	Legible			
3.1.1	Idioma de la página	A	No este definido el idioma para el sitio REA o éste no es ajustable por el usuario.	Definir el idioma del sitio REA o proveer un mecanismo para que el usuario pueda ajustarlo.
			No este definido el idioma para algunas páginas del sitio REA o éste no es ajustable por el usuario	Definir el idioma del sitio REA y de sus páginas internas y se proveer de un mecanismo para que el usuario pueda ajustarlo.

3.1.2	Idioma de las partes	AA	En el sitio REA existan palabras técnicas o abreviaturas que no sean definidas en un glosario.	Incluir un glosario para los términos técnicos y abreviaturas que se utilizan en el sitio REA
3.1.3	Palabras inusuales	AAA	Existan en el sitio REA contenidos muy técnicos con un nivel de lectura requerido muy alto sin opción a versión de menor dificultad..	Proporcionar a los contenidos muy técnicos del sitio REA con un nivel de lectura requerido muy alto una opción de acceso a una versión de menor dificultad
3.1.4	Abreviaciones	AAA		
3.1.5	Nivel de legibilidad	AAA	Existan en el sitio REA palabras ambiguas sin opción a aclaración o pronunciación en su contexto.	Proporcionar un mecanismo específico para identificar el significado donde las palabras son ambiguas al no conocer la pronunciación.
3.1.6	Pronunciación	AAA	No este definido el idioma para el sitio REA o éste no es ajustable por el usuario.	Definir el idioma del sitio REA o proveer un mecanismo para que el usuario pueda ajustarlo.
3.2	Previsible			
3.2.1	Con foco	A	Cambios de contexto o interfaz en el sitio REA por movimiento del foto o entrada de datos.	Controlar que no existan cambios de contexto o interfaz cuando se recibe el foco del usuario o entrada de datos.
3.2.2	En la entrada	A		
3.2.3	Navegación consistente	AA	Existan diferentes mecanismos de navegación para cada página del sitio REA.	Proporcionar mecanismos de navegación iguales o similares en cada página del sitio REA.
3.2.4	Identificación consistente	AA	Los contenidos o funcionalidades con el mismo propósito se identifican de forma diferente.	Asegurarse de identificar de forma similar a los contenidos y funcionalidades que tienen un mismo propósito.
3.2.5	Cambio en requisitos	AAA	Existan cambios de contexto en el sitio REA no solicitados por el usuario y sin opción a desactivarlos.	Se proporciona opción de cambio de contexto en el sitio REA para el usuario con opción a desactivarlos.
3.3	Asistencia de entrada			
3.3.1	Identificación de errores	A	Que en formularios de ingreso de datos del sitio REA, no exista alerta de que se requiere ingreso de datos, validación de los datos o sugerencias para correcciones de los errores que se puedan presentar.	Proporcionar el control, retroalimentación y validación de los datos que ingrese el usuario de en el sitio REA.
3.3.2	Etiquetas o instrucciones	A		
3.3.3	Sugerencia de errores	AA		
3.3.4	Prevención de errores (Legal, financiero, datos)	AA		

3.3.5	Ayuda	AAA	No exista ayuda al usuario en las páginas o funcionalidades del sitio REA.	Proporcionar un mecanismo de ayuda al usuario en las páginas o funcionalidades del sitio REA.
3.3.6	Prevención de Errores	AAA	Que en formularios de ingreso de datos del sitio REA, no existan controles para revertir, comprobar o confirmar los datos ingresados.	Permitir a los usuarios el control, retroalimentación y validación de los datos que ingresa al sitio REA.
4.	Robusto			
4.1	Compatible			
4.1.1	De análisis.	A	Existan en el código del sitio REA errores como etiquetas incompletas, anidados no definidos o ambiguos, atributos duplicados, u otros.	Debe eliminarse del código del sitio REA errores como etiquetas incompletas, anidados no definidos o ambiguos, atributos duplicados, u otros.
4.1.2	Nombre, rol, valor	A	Existan componentes de interfaz de usuario del sitio REA sin nombre, rol, estado, propiedades o valores sin establecer.	La interfaz de usuario del sitio REA debe estar debidamente identificada incluir nombre, rol, estado, propiedades y valores.

Así mismo la

Tabla 20 muestra el marco de mejoras para la usabilidad para plataformas REA, que igualmente corresponde a una ampliación de cada uno de los aspectos de usabilidad mencionados en la Tabla 18 basada en la norma ISO 9142 guías de accesibilidad de contenido versión 2.0 de la WAI. El marco para criterio describe los posibles errores, omisiones o conflicto, con al menos una solución o mejora basada en el análisis exhaustivo en un sitio REA, en la experiencia del evaluador y en los casos de aplicación desarrollados.

Tabla 20 Propuesta de mejoras de usabilidad

Atributo ISO 9142-11	Aspectos	Criterio	Prioridad en sitio Educativo/Formativo	Posible problema / error	Solución
EFICIENCIA	No aplica	No aplica	No aplica	Traba en el almacenamiento del cache en el navegador	Establecer valores para los atributos fecha de caducidad expiry date o maximum age tiempo de vida máxima en los encabezados HTTP para recursos estáticos como por ejemplo imágenes que ya tiene descargas de visitas anteriores guardadas en cache.

	No aplica	No aplica	No aplica	La compresión este deshabilitada	Ajustar la compresión de los recursos con gzip puede reducir el número de bytes enviados a través de la red, se sugiere habilitar la compresión de los recursos listados a continuación para reducir su tamaño de transferencia por 131.4KB (reducción del 67%).
EFICACIA	No aplica	No aplica	No aplica	Errores de carga de sitio en Navegadores web	Realizar pruebas de funcionamiento en todos los navegadores seleccionados por los usuarios evaluados.
	No aplica	No aplica	No aplica	Errores de carga de sitio en dispositivos móviles	Para estudios posteriores se propone cambiar la interfaz del sitio REA para poder navegar exclusivamente en dispositivos móviles
SATISFACCIÓN	ASPECTOS GENERALES	AG1: Objetivos del sitio web concretos y bien definidos	MA	Los objetivos del sitio no estén explicitados en el sitio REA	Ubicar los objetivos del sitio REA explícitamente en una sección accesible al usuario.
		AG2: Contenidos y servicios ofrecidos precisos y completos	CR	Los servicios disponibles no sean fácilmente identificables en el sitio REA	Los servicios del plataforma REA están claramente identificados.
		AG3: Estructura general del sitio web orientada al usuario	MA	La estructura general del sitio REA no sea comprensible por el usuario.	Mantener una estructura fácil de comprender.
		AG6: Diseño general del sitio web coherente	MA	El diseño del sitio REA no sea coherente entre sus páginas web.	Mantener un diseño estructura fácil coherente entre las páginas que son parte del sitio REA.
		AG7: Se utiliza el idioma del usuario	MA	El idioma definido para el sitio REA no sea el requerido por el usuario o no de opción a ajustarlo	Dar opción de seleccionar el idioma de presentación del contenido del sitio REA al usuario.
	IDENTIDAD E INFORMACIÓN	I17: Se ofrece información sobre el autor, fuentes y fechas de creación y revisión del documento en artículos,	MA	No ubicar información como el autor, fecha de creación y actualización de contenidos en el sitio REA.	Ubicar información como el autor, fecha de creación y actualización de contenidos en el sitio REA.

		noticias, informes			
ESTRUC TURA Y NAVEGA CIÓN	EN2: Estructura de organización y navegación adecuadas	MA	La organización de los contenidos e índices de navegación de contenidos, en forma jerárquica no sea la adecuada en el sitio REA.	Establecer una organización y estructura de navegación (índice) comprensible por el usuario en el sitio REA. Validar la estructura y navegación del sitio con usuarios reales.	
	EN4: Control del número de elementos y de términos por elemento en los menús de navegación	MA			
	EN5: Equilibrio entre profundidad y anchura en el caso de estructura jerárquica	MA			
	EN6: Enlaces fácilmente reconocibles como tales	MA	Los enlaces no estén en un formato reconocible y único en la plataforma REA.	Los enlaces tengan un formato definido, estandarizado, reconocible y único para cada página de la plataforma REA.	
	EN7: La caracterización de los enlaces indica sus estados (visitados, activos)	MA	No exista diferenciación entre enlaces activos o visitados en el plataforma REA.	Los enlaces tengan formato diferenciado para páginas activas o visitadas en el plataforma REA.	
	EN8: Se ha evitado la redundancia de enlaces	MA	Presencia de enlaces rotos en el plataforma REA.	Eliminar enlaces rotos en el plataforma REA.	
	EN9: Se ha evitado la existencia de enlaces rotos	MA			
	EN13: Hay elementos de navegación que orienten al usuario acerca de donde está y cómo deshacer su navegación (migas, pestañas coloreadas)	MA	No existan elementos que orienten la ubicación del usuario en el plataforma REA.	Proporcionar elementos o mecanismos que orienten la ubicación del usuario en el plataforma REA.	
	LA8: La versión	MA	El contenido del plataforma REA	Mantener estructura, contenidos y formatos	

	LAYOUT DE LA PÁGINA	impresa de la página es correcta.		no es legible con facilidad en su versión impresa.	adecuados para la versión impresa de la plataforma REA.
		LA9: El texto de la página se lee sin dificultad.	MA	El contenido textual del plataforma REA no es legible con facilidad.	Mantener estructura, contenidos y formatos son adecuados para facilitar la lectura del plataforma REA.
	ENTENDIBILIDAD Y FACILIDAD EN LA INTERACCIÓN	EF1: Se emplea un lenguaje claro y conciso.	MA	El lenguaje utilizado en el plataforma REA es demasiado técnico o complejo lo que dificulta su lectura	Emplear un lenguaje adecuado, claro y conciso en el plataforma REA.
	ELEMENTOS MULTIMEDIA	EM2: Fotografías comprensibles	MA	Las figuras y fotografías del plataforma REA no son legibles o comprensibles.	El formato y tamaño de las figuras y fotografías de la plataforma REA es legible y comprensible para la mayoría de los usuarios.
	BÚSQUEDA	BU1: Si es necesaria, se encuentra accesible desde todas las páginas del sitio	MA	La opción de búsqueda para el plataforma REA no es accesible desde todas las páginas del plataforma REA.	La opción de búsqueda para la plataforma REA sea accesible desde todas las páginas del plataforma REA.
		BU4: La caja de texto es lo suficientemente ancha.	MA	El tamaño de la caja de texto, para ingresar una búsqueda en el plataforma REA no es el adecuado.	El tamaño de la caja de texto para ingresar una búsqueda, sea el adecuado para la mayoría de usuarios.
		BU5: Sistema de búsqueda simple y claro.	CR	El sistema de búsqueda en el plataforma REA no es simple y claro para el usuario.	El sistema de búsqueda en la plataforma REA debe ser simple y claro para el usuario.
		BU7: Muestra los resultados de la búsqueda de forma comprensible para el usuario.	MA	Los resultados proporcionados por la búsqueda realizada en el plataforma REA no es comprensible para el usuario.	Los resultados proporcionados por la búsqueda realizada en el plataforma REA deben ser estructurados y con un formato adecuado que facilite la comprensión del usuario.
		BU8: Asiste al usuario en caso de no poder ofrecer resultados para una consultada	MA	No se proporciona mecanismos de asistencia a los usuarios del plataforma REA en caso de consulta o búsqueda.	Proporcionar mecanismos de asistencia (ayuda) a los usuarios del plataforma REA en caso de consulta o búsqueda
	AYUDA	AY2: Fácil acceso y retorno al/del	ME	Ausencia de ayuda	- Colocar un manual de usuario que cuente con información sencilla, y

		sistema de ayuda			<p>concisa y sin ambigüedades, que facilite su comprensión,</p> <p>-Tener una lista de preguntas frecuentes personalizadas y orientadas a la realidad de la plataforma REA</p>
--	--	------------------	--	--	--

4.2.4 Enriquecimiento iterativo del Marco de Referencia de Mejoras de Accesibilidad y Usabilidad de sitios REA

Para complementar y asegurar una permanente vigencia del marco de mejoras de accesibilidad y usabilidad propuesto, conforme se observa en la Figura 24 se realiza un proceso iterativo que conecta la segunda salida (ii) resultado cualitativo de problemas identificados con la tercera entrada (iii) marco de mejoras de accesibilidad y usabilidad para plataformas REA descrito en el apartado 4.2.2, este proceso iterativo retro alimentará al marco de soluciones y mejoras inicialmente planteado, con acciones y recomendaciones específicas proporcionadas por las herramientas automáticas y de la aplicación de la evaluación manual que surgirán en cada aplicación del marco AUREA que se realice.

4.3 Conclusiones

Este capítulo realiza el aporte principal de esta tesis doctoral como lo es la propuesta de AUREA un marco de trabajo que permite la evaluación, mejora y creación de la accesibilidad y usabilidad de plataformas REA, formado por dos componentes principales (i) la evaluación y mejora de la accesibilidad y usabilidad de plataformas REA, así como (ii) la creación de plataformas REA más accesibles y usables.

Este capítulo presenta el primer componente para la evaluación y mejora de la accesibilidad y usabilidad de plataformas REA, que esta formado por 4 componentes principales: (i) la medición cuantitativa esta basada en los estándares de accesibilidad y usabilidad internacionalmente validados y reconocidos para accesibilidad y usabilidad, se recomiendan herramientas de medición automática y artefactos de evaluación manual, descrita en el apartado 4.2.1, (ii) el marco de mejoras formado por los posibles errores y recomendaciones de mejoras de 61 criterios de accesibilidad y 24 criterios de usabilidad basados en estándares de accesibilidad y usabilidad este marco se describe a detalle en el apartado 4.2.2 (iii) una metodología de evaluación compuesta por pasos a seguir para evaluar la accesibilidad y usabilidad de cualquier sitio web, descrita en el apartado 4.2.3 de este capítulo, y finalmente (iv) un ciclo iterativo de retro alimentación continua del marco de mejoras accesibilidad y usabilidad para plataformas REA detallado en el apartado 4.2.4.

Capítulo 5: Construcción de Plataformas de Recursos Educativos Abiertos basada en Líneas de Producto Software

Este capítulo aborda el objetivo específico 3 de la tesis doctoral (OE3) que consiste en proponer una arquitectura y una línea de producto software centrada en accesibilidad y usabilidad para la construcción de plataformas REA (ver sección 1.2., Capítulo1). Es así que en este capítulo se describe el segundo componente del marco AUREA para la evaluación, mejora y creación de plataformas REA centradas en accesibilidad y usabilidad descrito en el capítulo anterior capítulo 4. Este segundo componente tiene como propósito la creación de plataformas REA accesibles y usables. Para ello esta tesis define una línea de producto software SPL para plataformas REA que incluye una propuesta global de cómo integrar la parte funcional con la no funcional, y se ha adoptado en particular para la accesibilidad y usabilidad, ya que estos dos son requisitos no funcionales que entrecruzan la funcionalidad de las plataformas REA.

En este capítulo también se presenta el análisis que se ha realizado sobre las distintas propuestas que incluyen requisitos no funcionales (NFR acrónimo de *Non-Functional Requirements*) en líneas de producto software, así como los criterios propuestos para evaluar la accesibilidad y usabilidad en plataformas REA (ver sección 4.2.1, Capítulo 4).

Finalmente, en este capítulo se presenta la propuesta de un arquetipo de arquitectura software para plataformas REA basado en los estilos de arquitecturas software, a partir de los componentes arquitectónicos, características funcionales y no funcionales de las plataformas REA obtenidos en el mapeo sistemático de bibliografía descrito en el capítulo 2.

5.1 Variabilidad en Requisitos no Funcionales

En esta sección, se describen algunos de los enfoques referidos en la bibliografía respecto a cómo especificar los requerimientos no funcionales (NFR) en líneas de producto software (SPL) donde se encontraron diferentes mecanismos para representar la variabilidad de funcionalidades en software. A continuación, se describen algunas de las opciones disponibles para representar los NFR encontradas en la bibliografía agrupados por la tecnología que utilizan.

5.1.1 Basados en Modelos de Características

Entre los trabajos basado en modelos que utilizan los diagramas de características se encuentra el trabajo de Benavides et al. [161]. Este trabajo parte de la problemática identificada de que la mayoría de las propuestas para el razonamiento automático en SPL hasta esa fecha no estaban diseñadas para hacer frente a características no funcionales. Aunque algunos autores Chastek [96], Kang [162], [163] reconocían la necesidad de incluir características no funcionales en una SPL, no había consenso sobre cómo tratarlas, solo existían un par de intentos limitados para abordarlas. En este trabajo [161] se presenta una solución a esta problemática, realizando una propuesta para modelar una SPL y razonar sobre esta, utilizando la programación de restricciones y considerando

tanto las características funcionales como las no funcionales. Para ello, se extiende los modelos de características existentes hasta esa fecha, puntualmente el modelo de características de Czarnecki [164], incluyendo características no funcionales. Adicionalmente, este trabajo también mejora la notación del modelo de características de Czarnecki, al permitir las relaciones entre los atributos. La Figura 25 se muestra una adaptación de una parte del ejemplo que ilustra características no funcionales para un Sistema de integración de casa (HIS acrónimo Home Integration Systems) así como la notación extensión de la notación de Streitfer et al. [165].

Figura 25 Ejemplo de modelo de características para un SPL en un dominio HIS (Adaptado de Benavides et al. [161])

El trabajo de Zhang et al. [166] menciona que en la fase de ingeniería de la aplicación de la línea de producto (application engineering) las funciones de un producto se pueden determinar seleccionando las características deseadas en la configuración del producto, la arquitectura de software derivada y la composición de componentes reutilizables. Principalmente, la calidad del producto se maneja hasta que el producto final se genera y se prueba en la fase de prueba [167]. Sin embargo, si se encuentra que la calidad del producto no puede satisfacer los requisitos de calidad de los clientes en las últimas etapas del desarrollo del producto, será muy costoso solucionar los problemas, ya que tenemos que volver al inicio de los ciclos de vida del desarrollo para volver a configurar el producto. Por lo tanto, los atributos de calidad del producto objetivo deben predecirse lo antes posible en la fase de ingeniería de aplicaciones. Como la configuración de productos basada en características es la primera etapa para evitar que se deriven los productos no válidos porque no tienen los atributos de calidad deseados, la estimación y la predicción de los atributos de calidad deben considerarse en esta etapa. Un enfoque sistemático para modelar los atributos de calidad en un modelo de características y realizar una configuración de productos basada en el conocimiento de calidad capturado es necesario.

Otro caso de uso de modelos de características para modelar requisitos no funcionales son los trabajos de Chavarriaga et al. [168] [169]. Estos proponen operaciones para abordar la necesidad de combinar modelos de características (FM) que modelan diferentes aspectos de la línea de producto. El trabajo se basa en la premisa de que en el sector de la fabricación industrial se requiere la combinación de diferentes características para especificar la variabilidad de dominio y la variabilidad de normas y regulaciones de productos manufacturados. Este trabajo ilustra esta necesidad mediante un ejemplo con los transformadores de redes eléctricas donde la variabilidad incluye características relevantes para el usuario y características opcionales. Por lo tanto, Chavarriaga et al. [168] [169] apuestan claramente por multimodelos para tratar las distintas vistas: la del

dominio, la normativa, los estándares y su integración mediante relaciones de intersección, fusión y otras entre ellos. De esta forma, los modelos de transformadores se convierten en subárboles de características en el modelo que fusionados conforman el modelo global, en la Figura 26 se muestra la adaptación del ejemplo planteado de subárboles de características para modelos de transformadores un estándar y otro de dominio propio planteados en [169]

Figura 26: Subárboles de características por tipo de transformadores (Adaptado de Chavarriaga et al. [169])

5.1.2 Basados en Lenguaje Unificado de Modelado (UML)

La propuesta de Nguyen [170] resalta que en la mayoría de los proyectos de TI, los desarrolladores de software suelen prestar más atención a los requisitos funcionales que satisfacen las necesidades comerciales del sistema. Los requisitos no funcionales (NFR), generalmente se manejan de manera ad hoc durante la fase de prueba del sistema, cuando es tarde y costoso solucionar los problemas. Para dar un soporte no manual a la gestión de requisitos, este trabajo propone un enfoque que consiste en la integración de a) la extensión de la línea de producto basada en UML (PLUS) acrónimo de Product Line UML-Based Software Engineering descrito en [171] citado en [170], a todas las categorías de NFR. y b) un motor de razonamiento, para proporcionar un marco unificado y sistemático para el modelado de análisis de los NFR en las líneas de productos de software.

Otro trabajo que utiliza como lenguaje de modelado UML para representar los NFR es el trabajo de González-Huerta et. al [172], el cual menciona que ante la falta de enfoques que representen efectivamente los NFR en una SPL, propone utilizar un enfoque multimodelo que permite la representación explícita de requisitos no funcionales para líneas de productos de software, tanto en ingeniería de dominios, como en niveles de ingeniería de aplicaciones. El multimodelo permite la representación de diferentes puntos de vista de un conjunto de productos de software que constituyen la línea de producto [10]. Es así que se distinguen (al menos) tres puntos de vista diferentes: variabilidad, funcionalidad y calidad. Concretamente, el modelo de calidad es el que permite la especificación de cualquier NFR, ya que es un metamodelo que permite crear cualquier característica de cualquier tipo NFR, lo cual da una gran flexibilidad al modelo; sin

embargo, es un modelo sintáctico que no tiene en cuenta la semántica y las restricciones específicas de los estándares definidos para evaluar los NFR. La viabilidad de este enfoque se ilustra a través de un ejemplo específico del dominio automotriz.

5.1.3 Basados en Modelos de Variabilidad Ortogonales

Roos-Frantz, et al. [97] afirman que la información de calidad asociada al modelo de variabilidad ortogonal (OVM) de Pohl et al. [90] y Metzger et al.[98] no se ha explorado en su totalidad. Por ello en su artículo [97], presenta un enfoque para el análisis de la calidad en las líneas de productos de software utilizando el modelo de variabilidad ortogonal (OVM) para representar la variabilidad. En su trabajo proponen trazar la variabilidad representada en el OVM para el análisis de la calidad, siguiendo tres pasos. Primero, presentan una forma de asociar la información de calidad con OVM (denominada OVM + j). En segundo lugar, definen una serie de operaciones de análisis para verificar OVM + j. Tercero, realizan un mapeo de OVM + j a un problema de satisfacción de restricciones. Paralelamente, los autores han desarrollado una herramienta prototipo llamada FaMa-OVM, que funciona como una prueba de concepto para dar sustento a esta propuesta.

En el trabajo de Roos-Frantz et al. [173] se propone FaMa-OVM, que es una herramienta para el análisis automatizado de OVM. La principal ventaja de FaMa-OVM es que se desarrolla sobre la base de un marco diseñado para facilitar el desarrollo de herramientas para el análisis de modelos de variabilidad. Por lo tanto, es fácil de ampliar e integrar en otras herramientas. FaMa-OVM proporciona soporte para el análisis de OVM utilizando tres paradigmas lógicos diferentes: lógica de descripción, lógica de proposiciones y programación de restricciones.

5.1.4 Discusión

Como se observa en los trabajos analizados la variabilidad funcional en líneas de producto software SPL se ha extendido agregando información de requisitos no funcionales (NFR) y calidad.

En este trabajo damos un paso adelante al centrarnos en las normas y estándares de NFR. Este trabajo presenta la especificación de la variabilidad no funcional en términos de las características e información que las normas preestablecidas y consideradas en el marco AUREA descrito en el capítulo 4. Los estándares sobre los NFR generalmente nos proporcionan la información sobre (i) cuáles son las características que deben implementarse para admitir el NFR, y (ii) el grado en que se puede lograr cada característica. La especificación del estándar es independiente del producto y la familia, por lo que sus pautas son genéricas y pueden adoptarse en cualquier producto y familia en los que este NFR sea deseable. Por lo tanto, se pueden ver como modelos de variabilidad específicos del dominio [174] que se pueden reutilizar en el proceso de ingeniería del dominio, y luego, extenderse si es necesario para la familia.

Específicamente, en este caso, el dominio es el NFR con el que trata el modelo (modelos de variabilidad específica no funcionales).

Una vez analizadas las opciones de representar la variabilidad de requerimientos no funcionales se opta por utilizar los modelos de variabilidad ortogonal para representar la línea de producto software para construir plataformas REA dado que esto ayuda a tener la variabilidad funcional y no funcional y los activos software con los que hacen traza de forma separada, lo que facilita su mantenimiento y extensión. En nuestro caso, se dispondrá separado los modelos de variabilidad funcionales y no funcionales (accesibilidad y usabilidad) y la arquitectura software. Esto junto a sus relaciones de dependencia y trazabilidad, constituyen un marco idóneo para la evolución de sistemas software que están en continuo cambio. Además, este marco favorece la reutilización, ya que al utilizar OVM en lugar de FM, no es necesario reutilizar todo el estándar, como ocurriría si utilizásemos FM, sino que se pueden reutilizar únicamente los subárboles que representen las características que interesen en cada línea de producto. Dotando de mayor flexibilidad y especialización a la reutilización de los estándares.

Es así que nuestra propuesta es una ampliación de algunos de los trabajos relacionados mencionados. Por un lado, aunque no utilizamos diagramas de carácticas, sino OVM por la separación de asuntos que ofrecen, sí que se amplía la propuesta de Chavarriaga, ya que su propuesta multimodelo para dar soporte a guías y normas, se centra principalmente en el hardware de los productos software (ver Figura 26). Esta tesis sin embargo proporciona una solución que aborda los estándares y normas para productos software. Por otro lado, el trabajo de esta tesis amplía el trabajo de Roos-Frantz, et al. [97] mediante la creación de modelos OVM no funcionales específicos con sus correspondientes modelos funcionales y de atributos de calidad asociados, para su evaluación de dichos requisitos. Además, esta contribución enriquece los OVM específicos no funcionales con atributos de calidad para medir cuantitativamente los NFR y analizar el grado de adopción de la norma en cada producto específico, aspectos que se han aplicado para dos requisitos no funcionales como lo son la accesibilidad y usabilidad.

5.2 Modelo de Variabilidad con modelos ortogonales de variabilidad específicos del dominio no funcional (*non-functional specific OVM*)

Este trabajo define un modelo de variabilidad con modelos ortogonales específicos de dominio de requerimientos no funcionales como lo son la accesibilidad y usabilidad en plataformas REA, aplicando el modelo dominio-entonces-aplicación y los procesos de la ingeniería de líneas de producto software SPLE descritos en el apartado 2.4.

Por lo tanto, se define una solución multimodelo OVM en donde la especificación de la línea en la fase de ingeniería del dominio consiste en la especificación del OVM funcional de la línea junto a tantos modelos OVM específicos como NFR se desean especificar para evaluar el grado de cumplimiento, así como el modelo de atributos de calidad asociado para poder realizar dicha evaluación en base a las métricas establecidas.

La variabilidad funcional en SPL se ha extendido utilizando calidad específica o información de NFR. Las normas sobre los NFR generalmente nos proporcionan la información sobre (i) cuáles son las características que deben implementarse para admitir el NFR, y (ii) el grado en que se puede lograr cada característica. La especificación estándar es independiente del producto y la familia, por lo que sus pautas son genéricas y pueden adoptarse en cualquier producto y familia en los que este NFR sea deseable. Por lo tanto, se pueden ver como modelos de variabilidad del dominio [174] que se pueden reutilizar en el proceso de ingeniería del dominio, y luego, extenderse si es necesario para la familia. Específicamente, en este caso, el dominio es el NFR con el que trata el modelo (modelos de variabilidad específica no funcionales).

Los NFR cruzan la funcionalidad de productos y familias, existen varias formas de representarlos en el diseño los diagrama de variabilidad y los OVM (Modelos de Variabilidad Ortogonal), que están interconectados con un OVM funcional [101]. Además, esta contribución enriquece los OVM específicos no funcionales con atributos de calidad para medir cuantitativamente los NFR y analizar el grado de adopción de la norma en cada producto específico

La Figura 27 muestra una representación gráfica del modelo de variabilidad con los modelos ortogonales específicos de dominio no funcionales propuestos, donde se muestra en la capa de ingeniería de dominio, la interrelación entre los modelos que la conforman y su configuración en la fase de ingeniería de aplicaciones. Se observa que la mayoría de modelos de variabilidad propuestos para requisitos no funcionales analizados en el apartado 5.1 incluyen en la capa de dominio únicamente el OVM funcional y su correspondiente configuración en la capa de aplicación. Nuestra propuesta agrega en la capa de ingeniería de dominio un OVM no funcional específico para accesibilidad y usabilidad que cruza las funcionalidades definidas para los productos y familias de productos software especificados en el OVM funcional de las plataformas REA, así como su interrelación con el modelo de calidad al OVM no funcional asociado en la misma capa de dominio, así como su interrelación con sus correspondientes configuraciones en la capa de la ingeniería de aplicación.

Además, se requiere definir un modelo base de calidad para medir la adopción / implementación de la NFR representada por la OVM que se explicará más adelante. Este modelo de calidad requiere la definición de: qué se va a medir, qué información se necesita, y cuál es la fórmula o la unidad de medida para cada característica (ver Figura 27).

Figura 27: OVM no funcionales y modelo de calidad en las fases de ingeniería de dominio e ingeniería de aplicaciones

Los modelos OVM que constituyen AUREA son modelos específicos de dominio. Los modelos específicos de dominio (DSM) se conciben para modelar la sintaxis y la semántica de un dominio específico. Entre otras ventajas, permiten definir reglas más específicas que los modelos de propósito general. Por ejemplo, al usar un modelo de propósito general, aunque denota una mayor flexibilidad, como propone el trabajo de Huerta et. al, es posible modelar los NFR y agregarles funciones que no les corresponde, por lo que es posible agregar una propiedad como por ejemplo la escalabilidad a un NFR que represente la usabilidad, creando una inconsistencia semántica en la especificación. Es por ello, que en esta tesis se establecen OVM específicos de dominio, concretamente de NFR específicos. De este modo, se quiere mitigar las inconsistencias semánticas a través del uso de modelos específicos de dominio, ya que, si tenemos como primitivas únicamente las características de los estándares y normas de los NFR específicos, sólo está permitido agregar a cada NFR sus propias características.

Dado que los OVM específicos no funcionales representan un estándar o norma independiente de cualquier producto software o dominio, también son independientes de la familia. Por lo tanto, es importante enfatizar que una vez que se define un OVM específico no funcional, está listo para ser reutilizado en cualquier línea de producto. Esto implica que, durante la fase de ingeniería de dominio, sólo será necesario crear el OVM específico no funcional si este no se ha creado previamente. Pero si ya existe el ingeniero de dominio, sólo deberá importarlo y realizar su especialización en el caso que sea necesario. La especialización de OVM específica no funcional se puede realizar, cuando la familia requiere esta extensión para restringir o detallar alguna de las características del estándar para esa SPL en particular. Esta extensión se realiza mediante la restricción de una variante con un punto de variabilidad. Por ejemplo, podemos suponer que una familia desea extender la variante “Texto Alternativo” de aplicaciones web con sus

diferentes formatos, la solución es crear un nuevo punto de variabilidad asociado a la variante de contenido no textual y especializarse definiendo otras variantes como la transmisión de video, video, video con subtítulos y audio. Luego, la variante de contenido no textual se ve limitada por un nuevo punto de variabilidad con cada una de las variantes para satisfacer las variantes específicas no funcionales de la familia (consulte la Figura 28).

Figura 28: Extensión del OVM de accesibilidad

Toda esta variabilidad en el dominio se hace realidad y se plasma en los activos software, habiendo una traza bien establecida entre cada una de las variantes y su especificación o implementación en dichos activos. En este caso, nos centramos en la arquitectura, ya que AUREA define un arquetipo arquitectónico para la creación de plataformas REA (ver Figura 29).

Figura 29: Trazabilidad del OVM propuesto y la arquitectura de las plataformas REA

5.2.1 Modelo de Variabilidad Ortogonal Funcional para plataformas REA

Dado que la tesis se centra en la evaluación y construcción de plataformas REA tipo *Open Courseware* como MOOCs y OCWs. La tesis define una SPL para dar soporte a su construcción permitiendo el siguiendo las normas de accesibilidad y usabilidad y su evaluación mediante la propuesta multimodelo de OVM. Pero para dar sustento a los modelos específicos usabilidad OVM y accesibilidad OVM, es necesario definir el modelo funcional OVM en el que van a ser adoptados. La definición del modelo de variabilidad funcional para plataformas REA aplica los elementos y características de los modelos ortogonales a las funcionalidades para plataformas REA. El modelo funcional OVM para plataformas REA se ha definido a partir de los resultados del mapeo sistemático realizado, precisamente para determinar las funcionalidades y características comunes y variables de estas plataformas (ver Capítulo 3). Así mismo, estas características se han extendido con la experiencia adquirida de trabajar con este tipo de plataformas durante años [32], [175], [176], [14], [22] y las evaluaciones realizadas [19], [20].

El modelo funcional OVM para REA incluye:

- **Puntos de variabilidad (VP)** obligatorios u opcionales, corresponden a las funcionalidades obligatorias u opcionales de las plataformas REA que se definen mediante múltiples variantes.
- **Variantes (V)** describen una posible forma de implementar una funcionalidad.
- **Restricciones** muestran posibles restricciones entre las variantes y puntos de variabilidad del modelo, por ejemplo, se puede dar una restricción de exclusión mutua entre variantes o puntos de variabilidad, y entre variantes y puntos de variabilidad.

El primer nivel del modelo OVM funcional corresponde a las variantes generales asociadas a cada una de las categorías funcionales identificadas en las plataformas REA a través del mapeo sistemático realizado (ver apartado 3.4).

La Figura 30 muestra la representación gráfica del OVM funcional donde se puede observar que existen dos categorías funcionales obligatorias que son gestión de contenido y gestión de estructura dado que todas las plataformas REA cumplen con esta funcionalidad de publicar contenido educativo abierto para ser leído por sus usuarios, mientras las otras 4 categorías funcionales son opcionales.

Por otro lado, se representa con una restricción de exclusión la relación entre las variantes de primer nivel y los puntos de variabilidad que las explotan, dado que si se selecciona al menos alguna de las variantes que pertenecen a los subárboles automáticamente se reemplaza la variante de primer nivel por el punto de variabilidad al que pertenece la variante seleccionada.

Figura 30: Modelo de variabilidad ortogonal Funcional para plataformas REA

Como se mencionó anteriormente cada una de las categorías funcionales descritas como variantes en el modelo de variabilidad ortogonal funcional de plataformas REA agrupan funcionalidades obligatorias u opcionales, que a su vez se desglosan en puntos de variabilidad que contienen las funciones de una plataforma REA. Estos subárboles de variabilidad que forman parte del OVM funcional se muestran a continuación de forma separada por cuestiones de espacio y claridad

La Figura 31 muestra el primer subárbol del modelo de variabilidad ortogonal funcional que corresponde a la variante obligatoria **gestión de contenido (V1.1)**. Esta variante es obligatoria en el modelo ya que corresponde a la funcionalidad básica para plataformas REA que es gestionar contenidos educativos abiertos, se desglosa a través del punto de variabilidad gestionar contenido, que agrupa 6 variantes de funcionalidades obligatorias de las funcionalidades básicas de gestión de contenidos que son: crear contenido, leer contenido, actualizar contenido, borrar contenido, buscar contenidos y metadatos en la plataforma REA y 7 variantes de funcionalidades opcionales que son: personalizar contenido, compartir contenido, recopilar contenido, búsqueda avanzada, empaquetar contenido y valorar el contenido.

Figura 31: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de contenido

La variante **Gestión de la estructura** (V1.2) es a una variante obligatoria, ya que se refiere a la posibilidad de adaptar la estructura de la plataforma REA por ejemplo crear, leer, actualizar o borrar uno de sus componentes que puede ser un objeto, capítulo, curso o sección. Esta variante se desglosa a través del punto de variabilidad gestionar estructura que agrupa las funciones CRUD de los componentes que estructuran el contenido de las plataformas REA como variantes obligatorias consta leer componente dado que leer es la funcionalidad básica de cualquier plataforma de este tipo y son opcionales crear, actualizar o borrar componentes ya que no todas las plataformas prestan estas funcionalidades a sus usuarios. La Figura 32 muestra el subárbol formado por las funcionalidades para la gestión de la estructura en plataformas REA. Por simplicidad y comprensión de los modelos, se ilustra la instanciación de las funcionalidades de Componentes en general, que son aplicables a cualquiera de los tipos de componentes mencionados anteriormente.

Figura 32: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de estructura

La variante **Gestión de usuarios** (V1.3) es una variante opcional dado que no todas las plataformas REA proporcionan la funcionalidad de definir usuarios y perfiles, algunas plataformas son totalmente abiertas y no definen perfiles es decir no diferencian tipos de usuarios. Esta categoría funcional recoge las funciones básicas también opcionales CRUD de los diferentes tipos de usuarios que se pueden dar en este tipo de plataformas. En la revisión de literatura se identificaron los siguientes tipos de usuarios: estudiante, profesor, tutor y administrador. La Figura 33 muestra una representación gráfica del punto de variabilidad gestionar usuarios en el OVM funcional para plataformas REA. Por simplicidad y comprensión de los modelos, se ilustra como usuario, pero se podría extender a cada uno de los tipos si fuese necesario.

Figura 33: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de usuarios

Figura 34: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de actividades

La variante **Gestión de actividades (V1.4)** es opcional dado que los REA no necesariamente implican incluir actividades normalmente se centran en el contenido, sin embargo, algunas plataformas incluyen una o todas las funciones básicas CRUD de las posibles actividades disponibles en las plataformas REA, entre ellas: *Problem-solving, Exercises, Experiments, Assesment, Evaluations test, Questionaries, Peer evaluation,*

Discussion, Authoring, Discussion, Blog, Chat, Wiki, Forum, y Social network. La Figura 34 muestra una representación gráfica de la extensión del punto de variabilidad gestionar actividades en el OVM funcional para plataformas REA. Por simplicidad y comprensión de los modelos, se ilustra como actividad, pero se asume su extensión a cada uno de los tipos.

La variante **Gestión de contexto** (V 1.5) corresponde a la categoría funcional del mismo nombre, y se enfoca en aspectos del contexto que deben considerarse, como por ejemplo proporcionar personalización de la plataforma y sus recursos dependiendo del tipo de estudiantes que la esté utilizando. Esta variante se desglosa a través del punto de variabilidad Gestionar de contexto y sus variantes opcionales que son: (i) personalización automática de contenido: que implica ajuste de los contenidos texto, audio, video, etc. acorde al perfil del usuario o contexto de la plataforma, por ejemplo el país desde donde se accede podría determinar un ajuste automático al idioma en que se muestran los contenidos; (ii) personalización automática de estructura: relacionado con ajustes en los componentes de la estructura objetos, cursos, capítulo o sección acorde al contexto del usuario o donde se utiliza la plataforma; y (iii) personalización automática de las actividades: igualmente asociado a los ajustes automáticos que podría realizar la plataforma en las actividades que incluya el REA acorde al contexto donde se aplique. En la Figura 58 se muestra una representación gráfica de la extensión del punto de variabilidad Gestionar contexto (VP1.5) en el OVM funcional para plataformas REA. Estas tres variantes tienen una dependencia, con las Gestión de Contenido, Gestión de la Estructura y Gestión de las Actividades, ya que si estas no existen no se puede dar la gestión del contexto de las mismas.

Figura 35: OVM funcional para plataformas REA: Gestión de contexto

Finalmente, la variante opcional de la categoría **Otros (V1.6)** incluye funcionalidades también opcionales que no son parte de las categorías mencionadas anteriormente. Entre

ellas encontramos: seguimiento de calificaciones, secuencia o flujo, autenticación, analítica de datos, acreditación, traducción, notificaciones, gamificación e informes. Cada una de estas funcionalidades son integradas al modelo como variantes opcionales ya que forman parte del enriquecimiento y mejora de las funciones básicas de la plataforma ya que, el seguimiento de calificaciones consiste que algunas plataformas manejan un libro de calificaciones, característica que no todas las REA incluyen, ya que en muchas de ellas no se existe un proceso de evaluación, sino meramente de información. Lo mismo ocurre con el caso de la secuencia o flujo, que se refiere a que algunos autores proponen secuencias o flujos para el uso de las plataformas REA, o la autenticación para el acceso a la plataforma cuando se han definidos perfiles de los usuarios. Dado que la gestión de usuario es optativa, esta característica también lo es. De hecho, esta característica tiene una dependencia con la gestión de usuarios, ya que sin una no existe la otra. De igualmente es optativo, la analítica de los datos generados en la plataforma REA con propósito de retroalimentar a docentes y estudiantes, y la acreditación del aprendizaje obtenido a través de un certificado avalado por la institución que oferta el courseware o MOOC que proporcionan algunas plataformas REA. Igualmente, el proceso de notificación a los usuarios utilizando tecnologías como mail o SMS o gamificar los contenidos del REA, son características opcionales que sólo incluyen algunas plataformas REA. En la Figura 36 se muestra una representación gráfica de la extensión del punto de variabilidad Otros (VP1.8) en el OVM funcional para plataformas REA.

Figura 36: OVM funcional para plataformas REA: Otros

5.2.2 Modelo de variabilidad no funcional

La propuesta de modelo de variabilidad no funcional complementa al OVM funcional respecto a requerimientos no funcionales (NFR). Para definir el modelo de variabilidad ortogonal no funcional se toma como referencia el marco de trabajo para evaluación, mejora y creación de plataformas REA descrito en el apartado 5.2, el cual está basado en los comités de normalización internacionales como lo son ISO [177], IEC [178], W3C [68] que definen estándares y pautas para los requerimientos no funcionales NFR de software. De este modo, con el marco de trabajo de evaluación definido es factible analizar, pre-procesar y modelar la accesibilidad y usabilidad como un modelo de dominio DSM.

Cuando no se implementa completamente un NFR en un producto de software, hay aspectos que se implementan y otros no. Entonces, si construimos un DSM de NFR, se debe especificar utilizando un modelo de variabilidad para especificar si un aspecto específico (característica) del estándar se implementará o no, y en qué medida.

Los OVM específicos no funcionales representan la variabilidad en la que cada característica puede ser compatible o no, y el grado de adopción. Para ese fin, cada característica del marco de referencia se representa como un punto de variabilidad (VP) y las diferentes formas de adoptar/desarrollar las características se representan a través de variantes. Estas características no funcionales están relacionadas entre sí con las funcionales, ya que deben tenerse en cuenta en su adopción o implementación. Por ejemplo, en un sistema web, la publicación de contenidos es una funcionalidad del sistema, pero hay diferentes maneras de publicar estos contenidos, utilizando: texto, video, imágenes y / o audio. Estas son variantes no funcionales acerca de cuán perceptible es el contenido. Por lo tanto, la OVM funcional y la OVM específica no funcional están relacionadas entre sí, ya que el desarrollo de la funcionalidad requiere del logro de NFR, y viceversa.

El modelo ortogonal de variabilidad de accesibilidad y usabilidad amplía el trabajo de Roos-Frantz [97] agregando un modelo paralelo al OVM funcional, llamado OVM específico no funcional. Los OVM específicos no funcionales especifican la variabilidad de las características predefinidas de NFR y su modelo de calidad (ver ingeniería de dominio en la Figura 27).

Por otro lado, durante la ingeniería de la aplicación, las variantes se seleccionan de OVM y, aplicando el modelo de calidad, la información de calidad se deriva para cada una de las variantes (consulte ingeniería de la aplicación en la Figura 27).

5.3 Modelo de variabilidad ortogonal (OVM) de Accesibilidad

El modelo de variabilidad ortogonal (OVM) de un requisito no funcional específico como lo es la accesibilidad, se ha desarrollado en base al estándar 40500 norma WCAG 2.0, que define principios, guías y criterios de éxito para la accesibilidad para páginas web (ver apartado 2.4). La correspondencia entre los elementos del modelo de variabilidad ortogonal y el estándar de accesibilidad a adoptar como base son:

- **Puntos de variabilidad (VP):** los principios y guías del estándar de accesibilidad ISO 40500
- **Variantes (V):** Son los criterios de éxito del estándar de accesibilidad ISO 40500
- **Restricciones:** De dependencia o exclusión

La Figura 37 muestra la representación gráfica del primer nivel del modelo de variabilidad ortogonal OVM de Accesibilidad propuesto, donde los cuatro principios de accesibilidad definidos por el estándar que son perceptible, operable, entendible y robusto se representan como variantes del punto de variabilidad Accesibilidad, y que a su vez corresponden a puntos de variabilidad que se desglosan en guías y criterios de accesibilidad conforme describe el estándar, que se representan y se describen más adelante. Es importante mencionar que, en la OVM de accesibilidad, cada variabilidad es opcional y puede ser requerida por alguna funcionalidad especificada en el OVM funcional, así mismo puede aportar a la NFR en este caso la accesibilidad con diferentes niveles.

Figura 37: OVM general de Accesibilidad

A continuación, la Figura 38 muestra el subárbol de la OVM de accesibilidad para el primer principio de accesibilidad definido por el estándar correspondiente a Perceptibilidad *Perceivable* (*VP1*), este principio pretende comprobar que la información y componentes de interfaz de usuario sean presentadas a los usuarios de manera que las pueda percibir. El principio de Perceptibilidad a la vez se subdivide en 4 variantes correspondientes a cada una de las guías establecidas para este principio que son: contenido con alternativa textual *Text alternative*, contenidos dependientes de la temporalidad *Timing Media*, contenidos que sean adaptables *Adaptable* y que se puedan distinguir *Distinguishable*.

Cada una de estas guías generan subárboles que agrupan a los criterios de accesibilidad definidos por el estándar, por ejemplo a la primera guía correspondiente a alternativa textual V1.1, únicamente contiene una variante que define un criterio de accesibilidad denominado contenido no textual V1.1.1; mientras que la V1.2 Contenido dependiente de la temporalidad tiene asociados 9 criterios de accesibilidad, a la variante V1.3 Adaptable le corresponden 3 criterios, y la variante V1.4 Distinguible tiene 9 criterios asociados todo ello en base al estándar de accesibilidad seleccionado en este caso ISO 40500 que define cada una de las guías, así como los criterios que lo conforman, aquí se sintetizan y describen algunos ejemplos de la representación en el modelo de variabilidad ortogonal para mejor comprensión. Es así que en la Figura 38 se puede describir la

relación entre una variante, por ejemplo V1.4.4 correspondiente a ajustar el tamaño del texto, y el punto de variabilidad al que pertenece que es VP1.4 *Distinguishable* y la accesibilidad, la interpretación sería si la variante V1.4.4 es requerida por una funcionalidad definida en una variante del modelo funcional automáticamente el VP1.4 reemplaza a la variante V1.4 y el valor que obtenga el VP1.4 en el modelo de calidad permitirá obtener el nivel de accesibilidad para esta característica de la plataforma REA a evaluar.

Figura 38: OVM de Accesibilidad – Guía Perceptible (Perceivable)

En el mismo sentido los subárboles del OVM de accesibilidad para las guías de los principios operable (VP1.2), comprensible (VP1.3) y robusto (VP1.4) representan el desglose de cada uno de los mencionados puntos de variabilidad, en guías y criterios de accesibilidad, que se muestran en las figuras Figura 39, Figura 40 y Figura 41. Como ya se ha comentado previamente, este OVM de accesibilidad es completamente reutilizable, pero esta estructura de árboles y subárboles independientes resulta favorece más todavía su reutilización, ya que cualquier línea de producto que quisiera tener en cuenta las

características, de Perceptibilidad, por ejemplo, podría incorporar y reutilizar únicamente ese subárbol, factor que da mayor flexibilidad a la reutilización.

Figura 39: OVM de Accesibilidad – Guía Operable (Operable)

Figura 40: OVM de Accesibilidad – Guía Entendible (Understandable)

El OVM de accesibilidad propuesto es reutilizable para cualquier familia relacionada con los contenidos web, ya que se basa en el estándar WCAG 2.0. Este OVM de accesibilidad solo define los criterios y principios de la norma para garantizar el cumplimiento de la norma y su reutilización. Pero, se ha de tener en cuenta que todas estas características tienen una restricción de dependencia con la gestión de contenidos y estructuras del OVM funciona de este tipo de sistemas, ya que es sobre ello, sobre lo que actúa el aspecto de accesibilidad. Por otro lado, también está listo para extenderse al restringir una variante con un punto de variabilidad.

Figura 41: OVM de Accesibilidad – Guía Robusto (Robust)

Además, se ha definido el **modelo de calidad** formado por atributos que esta asociado al OVM no funcional como una propiedad medible basado en la propuesta de Roos-Franz et al. [97] es así que se ha asociado a cada punto de variabilidad (VP) y variante (V) un atributo de calidad que permite cuantificarlo y al estar presente aportar al nivel de Accesibilidad de la plataforma REA. Cada atributo de calidad se define mediante unos parámetros predefinidos como son: identificador, un nombre, un dominio, un principio / guía, un nivel de accesibilidad y el valor asociado o la fórmula para calcular su valor, estos elementos se describen en la Tabla 21. Para obtener los valores de cada variante se utilizó el cálculo de la sumatoria del valor por criterio según el estándar y la correspondencia porcentual que se muestra en la Tabla 22.

Tabla 21: Información de cada atributo en el Modelo de calidad del OVM de Accesibilidad

Nombre	Etiqueta	Descripción
Identificador	Id	Numeración del criterio / principio / guía en el estándar WCAG 2.1
Nombre	Nombre	Nombre del criterio / principio / guía en el estándar WCAG 2.1
Dominio	Dominio	Rango de valores aceptables para medir el criterio / principio / guía
Principio	Principio	Principio de accesibilidad o guía con el cual esta relacionado.
Nivel de accesibilidad	Nivel de accesibilidad	Nivel de accesibilidad por criterio: A, AA, AAA
Fórmula	Fórmula	Variantes: Porcentajes asignados por nivel de Accesibilidad A=0,84%, AA=1,68%, AAA=2,52% VP: El valor se obtiene sumando los porcentajes de las variantes asociadas de forma que la sumatoria total de todas las variantes del OVM es el 100%

Tabla 22: Valores de los V y VP en el OVM de Accesibilidad

Notación en OVM de Accesibilidad	Guía / Criterio ISO 40500	Nivel de Accesibilidad	Valor de la Variante	Peso % en el nivel de Accesibilidad
VP1	Perceivable			
VP1.1	Text Alternative			
V1.1.1	Non text content	A	1	0,84%
VP1.2	Time based media			
V1.2.1	Pre-recorded audio and video	A	1	0,84%
V1.2.2	Captions (pre-recorded)	A	1	0,84%
V1.2.3	Audio description or Media alternative	A	1	0,84%
V1.2.4	Captions for audios	AA	2	1,68%
V1.2.5	Audio description for Video	AA	2	1,68%
V1.2.6	Sign language	AAA	3	2,52%
V1.2.7	Extended audio	AAA	3	2,52%
V1.2.8	Media alternative	AAA	3	2,52%
V1.2.9	Audio only	AAA	3	2,52%
VP1.3	Adaptable			
V1.3.1	Info and relationships	A	1	0,84%
V1.3.2	Meaningful sequence	A	1	0,84%
V1.3.3	Sensory characteristics	A	1	0,84%
VP1.4	Distinguishable			
V1.4.1	Use of color	A	1	0,84%
V1.4.2	Audio Control	A	1	0,84%
V1.4.3	Contrast minimum	AA	2	1,68%
V1.4.4	Resize text	AA	2	1,68%
V1.4.5	Images of text	AA	2	1,68%
V1.4.6	Contrast Enhanced	AAA	3	2,52%
V1.4.7	Low and No background audio	AAA	3	2,52%
V1.4.8	Visual presentation	AAA	3	2,52%
V1.4.9	Images of text	AAA	3	2,52%
VP2	Operable			
VP2.1	Keyboard Accessible			
V2.1.1	Keyboard	A	1	0,84%
V2.1.2	No keyboard trap	A	1	0,84%
V2.1.3	Keyboard (No exception)	AAA	3	2,52%
VP2.2	Enough Time			
V2.2.1	Timing Adjustable	A	1	0,84%
V2.2.2	Pause, stop, hide	A	1	0,84%
V2.2.3	No timing	AAA	3	2,52%
V2.2.4	Interruptions	AAA	3	2,52%
V2.2.5	Re-authentication	AAA	3	2,52%

VP2.3	Seizures and Physical Reactions			
V2.3.1	Three Flashes or Below Threshold	A	1	0,84%
V2.3.2	Three Flashes	AAA	3	2,52%
VP2.4	Navigable			
V2.4.1	Bypass Blocks	A	1	0,84%
V2.4.2	Page Titled	A	1	0,84%
V2.4.3	Focus Order	A	1	0,84%
V2.4.4	Link Purpose (In Context)	A	1	0,84%
V2.4.5	Multiple Ways	A	1	0,84%
V2.4.6	Headings and Labels	AA	2	1,68%
V2.4.7	Focus Visible	AA	2	1,68%
V2.4.8	Location	AAA	3	2,52%
V2.4.9	Link Purpose (Link Only)	AAA	3	2,52%
V2.4.10	Section Headings	AAA	3	2,52%
VP3	Understandable			
VP3.1	Readable			
V3.1.1	Language of Page	A	1	0,84%
V3.1.2	Language of Parts	AA	2	1,68%
V3.1.3	Unusual Words	AAA	3	2,52%
V3.1.4	Abbreviations	AAA	3	2,52%
V3.1.5	Reading Level	AAA	3	2,52%
V3.1.6	Pronunciation	AAA	3	2,52%
VP3.2	Predictable			
V3.2.1	On Focus	A	1	0,84%
V3.2.2	On input	A	1	0,84%
V3.2.3	Consistent Navigation	AA	2	1,68%
V3.2.4	Consistent Identification	AA	2	1,68%
V3.2.5	Change on Request	AAA	3	2,52%
V3.3	Input Assistance			
V3.3.1	Error Identification	A	1	0,84%
V3.3.2	Labels or Instructions	A	1	0,84%
V3.3.3	Error Suggestion	AA	2	1,68%
V3.3.4	Error Prevention (Legal, Financial, Data)	AA	2	1,68%
V3.3.5	Help	AAA	3	2,52%
V3.3.6	Error Prevention (All)	AAA	3	2,52%
VP4	Robust			
VP4.1	Compatible			
V4.1.1	Parsing	A	1	0,84%
V4.1.2	Name, Role, Value	A	1	0,84%
TOTAL Y PORCENTAJE DE ACCESIBILIDAD			119	100,00%

Como se observa en las Tabla 21 y Tabla 22 los valores asignados al atributo asociado a cada una de las variantes (V) son porcentuales y se obtiene del porcentaje de representatividad que tiene el criterio en el 100% de Accesibilidad deseada. Esta correspondencia se realiza utilizando el nivel asignado para cada criterio en el estándar de accesibilidad ISO 40500, la correspondencia es 0 si no está presente el criterio, 0,84% si está presente un criterio de nivel A, 1,68% si está presente un criterio de nivel AA y 2,52% si el criterio es de nivel AAA.

La Figura 42, Figura 43, Figura 44 y Figura 45 muestran el modelo de calidad asociado a cada uno de las variantes de OVM de accesibilidad y que corresponden a los principios de accesibilidad Perceptible (VP1), Operable (VP2), Comprensible (VP3) y Robusto (VP4) definidos por el estándar ISO 40500 y descritos en las Figura 38, Figura 39, Figura 40 y Figura 41.

Para obtener la medición del nivel de Accesibilidad de la plataforma REA se aplica la fórmula de sumatoria en cada punto de variabilidad que a su vez alimentan al punto de variabilidad superior hasta obtener el porcentaje total de accesibilidad para el nodo raíz del OVM de Accesibilidad, el cual es un valor cuantitativo, que posteriormente puede ser transformado a una escala cualitativa utilizando la escala de Hilera et al. [77] que se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23: Nivel cualitativo de Accesibilidad (Adaptación de Hilera et al. [77])

Nivel	Porcentaje	Descripción
Alto	70 -100	El cumplimiento de los criterios de accesibilidad es alto o notable, presentará mínimas limitaciones de acceso a los contenidos y funcionalidades del sitio web.
Moderado	50 – 70	El cumplimiento de los criterios de accesibilidad es moderado o aceptable, presentará pocas limitaciones de acceso a los contenidos y funcionalidades del sitio web.
Deficiente	25 – 50	El cumplimiento de los criterios de accesibilidad es bajo o deficiente, presentan dificultades y barreras de acceso al contenidos o funcionalidad del sitio web.ara las personas.
Muy deficiente	Menos de 25	El cumplimiento de los criterios de accesibilidad es muy deficiente. Será difícil acceder al contenido y funcionalidades del sitio web.

Es importante enfatizar que los diseñadores web pueden utilizar este OVM de accesibilidad junto con el modelo de calidad definido para evaluar los sitios web existentes o conocer el grado de accesibilidad durante la obtención de requisitos. Esta es una información valiosa, ya que están a tiempo para corregir los requisitos si se dan cuenta de que el producto no tiene el grado de accesibilidad deseable. Por lo tanto, pueden seleccionar más funciones o funciones más valiosas por adelantado para ver conocer las mejoras la accesibilidad que implicarían en sus productos [19].

Figura 42: Modelo de calidad asociado a OVM de accesibilidad: Guía Perceptible (Perceivable)

Figura 43: Modelo de calidad asociado a OVM de accesibilidad: Guía Operable (Operable)

Figura 44: Modelo de calidad asociado a OVM de accesibilidad: Guía Entendible (Understandable)

Figura 45: Modelo de calidad asociado a OVM de accesibilidad: Guía Robusto (Robust)

5.4 Modelo de variabilidad Ortogonal (OVM) de usabilidad

Utilizando la misma estructura y forma de representación en este apartado presentamos el modelo de variabilidad ortogonal de Usabilidad para plataformas REA utilizando como base el marco de evaluación de la usabilidad descrito en el capítulo 4 apartado 4.2.1.1 basado en Sirius esta estructurado en aspectos y criterios de usabilidad que se muestran en la Tabla 18, la correspondencia entre los elementos del modelo de variabilidad ortogonal y el estándar de usabilidad ISO 9241-11 y marco de usabilidad Sirius tomados como base son:

- Puntos de Variabilidad (VP): Corresponden a los aspectos de usabilidad que evalúa el marco Sirius
- Variantes (V): Corresponden a los criterios de usabilidad que evalúa Sirius.
- Restricciones: Pueden ser restricciones de exclusión o de dependencia entre las variantes (V) los puntos de variabilidad (VP) o entre ellos.

La Figura 46 muestra la representación gráfica del primer nivel del modelo de variabilidad ortogonal OVM de Usabilidad propuesto, el punto de variabilidad padre del árbol corresponde a la Usabilidad que tiene asociadas ocho variantes correspondientes a los 8 aspectos definidos por Sirius que son: Aspectos generales, Identidad e información, estructura y navegación, diseño de la página, facilidad de interacción, elementos multimedia, búsqueda y ayuda cada uno de esos aspectos se describe en la Tabla 18 del capítulo 4, dado que según la definición modelos de variabilidad ortogonales las variantes no se subdividen en otras variantes, se hace una correspondencia entre estas variantes de primer nivel a puntos de variabilidad que se desglosan en los criterios de usabilidad conforme describe Sirius, que se representan y se describen más adelante. Es importante mencionar que en la OVM de usabilidad para plataformas REA cada variabilidad es opcional y puede ser requerida por alguna funcionalidad especificada en el OVM funcional de plataformas REA, así mismo puede aportar al requerimiento no funcional usabilidad con diferentes niveles.

Figura 46: Modelo de variabilidad ortogonal de Usabilidad para plataformas REA

A continuación se representan cada uno de los subárboles que generan los puntos de variabilidad asociados a las variantes de primer nivel del OVM de usabilidad correspondientes a los 8 aspectos de Sirius que son: Aspectos Generales (VP1.1) Figura 47, Identidad (VP1.2) Figura 48, Navegación (VP1.3) Figura 49, Diseño (VP1.4) Figura 50, Interacción (VP1.5) Figura 51, Multimedia (VP1.6) Figura 52, Búsqueda (VP1.7) Figura 53 y Ayuda (VP1.8) Figura 54. Como se muestran en las figuras cada uno de estos puntos de variabilidad generan subárboles que agrupan a los criterios de usabilidad asociados a cada aspecto y definidos por el marco Sirius, por ejemplo el primer aspecto denominado Aspectos Generales (VP1.1) que se muestra en la Figura 47 contiene cinco variantes que son: Objetivos bien definidos (V1.1.1), Contenido preciso y completo (V1.1.2), Sitio orientado al usuario (V1.1.3), Diseño coherente (V1.1.4) y Lenguaje personalizado (V1.1.5). Por otro lado, en la Figura 48 muestra los subárboles correspondientes a donde igualmente cada punto de variabilidad agrupa un conjunto de variantes definidas por Sirius.

Figura 47: OVM Usabilidad: subárbol Aspectos generales (VP1.1)

Figura 48: OVM Usabilidad: subárbol Identidad (VP1.2)

Figura 49: OVM Usabilidad: subárbol Navegación (VP1.3)

Figura 50: OVM Usabilidad: subárbol Diseño (VP1.4)

Figura 51: OVM Usabilidad: subárbol Interacción (VP1.5)

Figura 52: OVM Usabilidad: subárbol Multimedia (VP1.6)

Figura 53: OVM Usabilidad: subárbol Buscar (VP1.7)

Figura 54: OVM Usabilidad: subárbol Ayuda (VP1.8)

El OVM de usabilidad propuesto es reutilizable para cualquier familia relacionada con los contenidos web, ya que se basa en un marco de evaluación de usabilidad aplicable a cualquier plataforma web. Este OVM de usabilidad utiliza los aspectos y principios del marco de referencias Sirius aplicable a sitios web educativos como lo son las plataformas REA.

Complementando el OVM de usabilidad se ha definido el **modelo de calidad** formado por atributos que esta asociado al OVM no funcional como una propiedad medible igualmente basado en la propuesta de Roos-Franz et al. [97] es así que se ha asociado a cada punto de variabilidad (VP) y variante (V) un atributo de calidad que permite cuantificarlo y al estar presente aportar al nivel de Usabilidad de la plataforma REA. Cada atributo de calidad se define mediante unos parámetros predefinidos, iguales a los utilizados en el modelo de calidad del OVM de accesibilidad que son: identificador, un nombre, un dominio, un principio / guía, un nivel de usabilidad y el valor asociado o la

fórmula para calcular su valor, estos elementos se describen en la Tabla 24. Para obtener los valores de cada variante se utilizó el cálculo de la sumatoria del valor por criterio según el estándar y la correspondencia porcentual que se muestra en la Tabla 25.

Tabla 24: Información de cada atributo en el Modelo de calidad del OVM de Usabilidad para plataformas REA

Nombre	Etiqueta	Descripción
Identificador	Id	Identificador secuencial asignado en el OVM de Usabilidad
Nombre	Nombre	Nombre del aspecto o criterio de usabilidad según el marco Sirius
Dominio	Dominio	Rango de valores aceptables para medir el criterio / principio / guía
Principio	Principio	Principio de accesibilidad o guía con el cual esta relacionado.
Nivel de Usabilidad	Nivel de Usabilidad	Nivel de relevancia por criterio: Crítico, Muy Alto, Medio
Fórmula	Fórmula	Variantes: Porcentajes asignados por relevancia del criterio de usabilidad Medio=2,04%, Muy Alto=4,08%, Crítico=6,12% VP: El valor se obtiene sumando los porcentajes de las variantes asociadas de forma que la sumatoria total del OVM sea el 100%

Tabla 25: Valores de los V y VP en el OVM de Usabilidad

Notación en OVM de Usabilidad	Aspecto / Criterio Sirius	Relevancia del criterio de Usabilidad	Valor de la Variante	Peso % en el nivel de Accesibilidad
VP1	Aspectos Generales			
V1.1	AG1: Objetivos del sitio web concretos y bien definidos	MA	2	4,08%
V1.2	AG2: Contenidos y servicios ofrecidos precisos y completos	CR	3	6,12%
V1.3	AG3: Estructura general del sitio web orientada al usuario	MA	2	4,08%
V1.4	AG6: Diseño general del sitio web coherente	MA	2	4,08%
V1.5	AG7: Se utiliza el idioma del usuario	MA	2	4,08%
VP2	Identidad e Información			
V2.1	II7: Se ofrece información sobre el autor, fuentes y fechas de creación y revisión del documento en artículos, noticias, informes	MA	2	4,08%
VP3	Estructura y Navegación			
V3.1	EN2: Estructura de organización y navegación adecuadas	MA	2	4,08%
V3.2	EN4: Control del número de elementos y de términos por elemento en los menús de navegación	MA	2	4,08%
V3.3	EN5: Equilibrio entre profundidad y anchura en el caso de estructura jerárquica	MA	2	4,08%
V3.4	EN6: Enlaces fácilmente reconocibles como tales	MA	2	4,08%

V3.5	EN7: La caracterización de los enlaces indica sus estados (visitados, activos)	MA	2	4,08%
V3.6	EN8: Se ha evitado la redundancia de enlaces	MA	2	4,08%
V3.7	EN9: Se ha evitado la existencia de enlaces rotos	MA	2	4,08%
V3.8	EN13: Hay elementos de navegación que orienten al usuario acerca de donde está y cómo deshacer su navegación (migas, pestañas coloreadas)	MA	2	4,08%
VP4	Diseño			
V4.1	LA8: La versión impresa de la página es correcta.	MA	2	4,08%
V4.2	LA9: El texto de la página se lee sin dificultad.	MA	2	4,08%
VP5	Interacción			
VP5.1	EF1: Se emplea un lenguaje claro y conciso.	MA	2	4,08%
VP6	Multimedia			
VP6.1	EM2: Fotografías comprensibles	MA	2	4,08%
VP7	Búsqueda			
V7.1	BU1: Si es necesaria, se encuentra accesible desde todas las páginas del sitio	MA	2	4,08%
V7.2	BU4: La caja de texto es lo suficientemente ancha.	MA	2	4,08%
V7.3	BU5: Sistema de búsqueda simple y claro.	CR	3	6,12%
V7.4	BU7: Muestra los resultados de la búsqueda de forma comprensible para el usuario.	MA	2	4,08%
V7.5	BU8: Asiste al usuario en caso de no poder ofrecer resultados para una consultada dada	MA	2	4,08%
VP8	Ayuda			0,00%
V8.1	AY2: Fácil acceso y retorno al/del sistema de ayuda	ME	1	2,04%
TOTAL Y PORCENTAJE DE USABILIDAD			49	100%

Como se observa en las Tabla 24 y Tabla 25 los valores asignados a los atributos asociados a las variantes (V) es porcentual y se obtiene del porcentaje de representatividad que tiene el criterio en el 100% de Usabilidad deseada, la correspondencia se realiza utilizando el nivel de relevancia asignado para cada criterio en el marco de evaluación de usabilidad Sirius, la correspondencia es: 0 si no está presente el criterio, 2,04% si está presente un criterio de relevancia Media, 4,08% si está presente un criterio de relevancia Muy Alta y 8,16% si el criterio es de relevancia Crítica.

A continuación las Figuras: Figura 55, Figura 56, Figura 57, Figura 58, Figura 59, Figura 60, Figura 61 y Figura 62 muestran los modelos de calidad asociados a cada uno de los aspectos de usabilidad definidos por el marco Sirius descritos en las Figuras: Aspectos Generales (VP1.1) Figura 47, Identidad (VP1.2) Figura 48, Navegación (VP1.3) Figura

49, Diseño (VP1.4) Figura 50, Interacción (VP1.5) Figura 51, Multimedia (VP1.6) Figura 52, Búsqueda (VP1.7) Figura 53 y Ayuda (VP1.8) Figura 54.

Figura 55: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Aspectos Generales

Figura 56: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Identidad

Figura 57: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Navegación

Figura 58: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Diseño

Figura 59: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Interacción

Figura 60: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Multimedia

Figura 61: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Buscar

Figura 62: Modelo de calidad asociado a OVM de usabilidad: Ayuda

Para obtener la medición del nivel de usabilidad se aplica la fórmula de sumatoria en cada punto de variabilidad que a su vez alimentan al punto de variabilidad superior hasta obtener un valor total para el nodo raíz del OVM de Usabilidad, el cual se obtiene inicialmente es un valor cuantitativo porcentual que posteriormente puede ser

transformado a una escala cualitativa utilizando una adaptación a Usabilidad de la escala de Hilera et al. [77] propuesta para Accesibilidad y que se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26: Escala cualitativa de medición de la usabilidad (Adaptación de Hilera et al. [77])

Nivel	Porcentaje	Descripción
Alto	70 -100	El cumplimiento de los criterios de usabilidad es alto o notable, presentará mínimas limitaciones de acceso a los contenidos y funcionalidades del sitio web.
Moderado	50 – 70	El cumplimiento de los criterios de usabilidad es moderado o aceptable, presentará pocas limitaciones de acceso a los contenidos y funcionalidades del sitio web.
Deficiente	25 – 50	El cumplimiento de los criterios de usabilidad es bajo o deficiente, presentan dificultades y barreras de acceso al contenidos o funcionalidad del sitio web.ara las personas.
Muy deficiente	Menos de 25	El cumplimiento de los criterios de usabilidad es muy deficiente. Será difícil acceder al contenido y funcionalidades del sitio web.

5.5 Arquitectura

Una vez definida la línea de producto software (SPL) para la creación de plataformas REA a través de un modelo de variabilidad ortogonal (OVM) funcional y modelos OVM para requisitos no funcionales, que esta tesis se presentan los OVMs de accesibilidad y usabilidad, a continuación se describe un arquetipo de arquitectura de software que sirva como estilo arquitectónico inicial para la construcción de plataformas REA. El diseño de este estilo se ha realizado en base a los insumos recopilados en el capítulo 3 de mapeo sistemático de literatura, puntualmente la pregunta de investigación 2 (PI2) referente a ¿Qué elementos arquitectónicos componen los sistemas/plataformas REA?. En la revisión de la bibliografía se identificaron 17 componentes arquitectónicos que se listaron y describieron en el apartado 3.4 del capítulo 3 Tabla 12 y que se resumen en la Tabla 27.

Como se mencionó en el capítulo 2 de background, según [91] las familias de productos software tienen propiedades, elementos y funcionalidades comunes y variables, esta afirmación es aplicable a las plataformas REA. Con este antecedente, una vez identificados los componentes de las plataformas REA, se debe determinar los componentes comunes que deben estar presentes en este tipo de plataformas y variables, es decir, que pueden o no estar presentes. Para determinar cuales componentes son comunes o variables, la selección se realizó en base a los resultados obtenidos en el mapeo sistemático de literatura descrito en el capítulo 3, sin que estos resultados sean concluyentes, ya que hay artículos que no explicitan los componentes software simplemente los asumen. Por otro lado, un estudio arquitectónico de este tipo de plataformas no es sencillo ya que en la mayoría de los casos no se tiene acceso a su diseño arquitectónico.

Tabla 27: Componentes arquitectónicos para plataformas REA encontrados en el Mapeo de bibliografía

Almacenamiento (Alm)	Son espacios de almacenamiento de datos e información, entre ellos bases de datos relacionales, no relacionales o semánticas, repositorios
Interfaz de usuario (IU)	Incluye las diferentes interfaces de gestión de usuarios, cursos, estudiante, profesor, administrador y otros
Comunicación (Com)	Incluye los diferentes medios de comunicación entre las aplicaciones API, protocolos, puertos y otros
Servicios (Serv)	Incluye los servicios que provee o consume la arquitectura principalmente relacionados con la gestión en este tipo de plataformas como son: gestión de contenidos, gestión de usuarios, gestión de estructura, gestión de actividades, gestión de contexto entre otras.
Sistema de gestión del aprendizaje (LMS)	Incluye sistemas para la gestión de contenidos CMS, sistemas para gestión de aprendizaje LMS, plataformas para REA, OCW o MOOC
Seguridad (Seg)	Incluye principalmente seguridad de acceso, autenticación.
Motor semántico (MS)	Incluye contenido semántico como RDF, ontologías y componentes semánticos presentes en la arquitectura, como bases de datos semánticas.
Motor de búsqueda (MB)	Motor de búsqueda básica o avanzada.
Componentes o herramientas sociales (Social)	Incluye elementos y herramientas para compartir contenido social.
Recomendador (Rec)	Componente de recomendación de recursos o interfaces.
Lógica de Negocio (LN)	Componente que gestiona la lógica del software, basado en estándares o dominios definidos.
Orquestador (Org)	Componente coordinador de servicios.
Componentes para trabajo colaborativo (Col)	Componentes que permiten desarrollo de actividades colaborativas foros, chats, wikis entre otros.
Analítica (Ana)	Componente para el análisis de los datos de usuario, de aprendizaje, etc.
Evaluación (Ev)	Componente de evaluación para acreditación, certificación de los usuarios, valoración de los contenidos almacenados y otros.
Notificaciones (Not)	Componente de comunicación mediante SMS o e-mail con los usuarios.
Motor de adaptación (MA)	Componente para personalización del aprendizaje.

Para proponer la arquitectura base para plataformas REA en este trabajo se han identificado como componentes comunes, aquellos relacionados con la funcionalidad básica de este tipo de plataformas, como son **almacenamiento** *Storage* y **gestión de contenidos** *Content Management System* así como la **interfaz de usuario** *User Interface*. Adicionalmente se consideraron comunes aquellos componentes indispensables en toda arquitectura distribuida orientada a servicios entre ellos: **Seguridad** *Security*, **Lógica de negocios** *Business logic or rules*, **Comunicación** *Communication*, **Servicios** *Service* y **Orquestador** *Orchestator*. Los componentes restantes se consideran variables Búsqueda *Search engine*, Motor semántico *Semantic engine*, Social *Social components or tools*, Recomendador *Recommender*, Colaboración *Component for collaborative or cooperative work*, Analítica *Analytics*, Evaluación *Assessment*, Notificación *Notifacations*, Adaptación *Adaptive engine*. Con estos insumos hemos creado una primera representación de los componentes que forman la arquitectura software para REA utilizando como base el arquetipo de la Figura 20 representación de capas y componentes,

los componentes comunes con fondo gris y componentes variables sin color de fondo, como se muestra en la Figura 63.

Figura 63: Componentes comunes y opcionales en la Arquitectura para plataformas REA

Como se puede observar es una versión actualizada de la elaborada en base al análisis de los resultados del mapeo sistemático y a continuación se justifica la presencia de cada uno de los componentes comunes en las plataformas REA:

- Interfaz de usuario (IU) – La interfaz de usuario es requerida en una plataforma REA ya que a través de este componente software los usuarios pueden interactuar con este tipo de plataformas, que están principalmente orientada a estudiantes, auto didáctas, profesores o usuarios en general que requieren recursos para fortalecer sus conocimientos y capacidades.
- Sistema de gestión de contenidos (CMS) - acrónimo de Content management system, este tipo de sistemas son indispensables en una plataforma REA ya que permiten administrar (crear, leer, borrar, editar) los contenidos que son la materia prima de las plataformas para REA.
- Almacenamiento (Alm) - Los contenidos gestionados por las plataformas REA generan datos y metadatos de los REA por lo que también se requiere un espacio de almacenamiento donde almacenar y gestionar esta información.
- Comunicación (Com) – La comunicación es requerida en plataformas REA, tanto comunicación interna entre los elementos de la arquitectura capas, componentes, servicios, así como con servicios o componentes externos a través de protocolos u otros medios.
- Servicios (Serv) – Dado que se ha seleccionado el patrón arquitectónico de servicios, la arquitectura debe contener componentes que soporten los servicios y funcionalidades asociados a este tipo de plataformas como son: gestión de contenidos, gestión de usuarios, gestión de estructura, gestión de actividades, gestión de contexto entre otras.

- Seguridad (Seg) – El componente de seguridad es un componente requerido o común, para guardar la confidencialidad de los datos personales de los usuarios, y en el registro de avance en contenidos para el caso de cursos.
- Lógica de Negocio (LN) – La lógica de negocios define las reglas de negocio para el dominio en este caso los REA que se ejecutarán a través de servicios u otros componentes de la arquitectura.

Para conformar el arquetipo de la arquitectura además de las componentes debemos establecer las relaciones entre dichas componentes. Una relación entre componentes en la arquitectura de software, es una conexión o interacción entre dos componentes A y B que puede ser de A a B, de B a A o de ida y vuelta. Para determinar dichas relaciones, se ha utilizado la información extraída del mapeo sistemático, de forma que se ha realizado el estudio de las posibles relaciones entre los 17 componentes definidos que nos permita establecer una base de la arquitectura. Es así que este trabajo propone un conjunto de relaciones entre los 17 componentes que han sido identificadas en las arquitecturas propuestas en la bibliografía revisada, así como algunas relaciones que se consideran deberían existir. El estudio de relaciones entre componentes se muestra en la Tabla 28 y se denotan con una X en la intersección de los dos componentes que se relacionan.

Tabla 28: Relaciones entre componentes arquitectónicos de plataformas REA

	Alm	IU	Com	Serv	CMS	Seg	MS	MB	Soc	Rec	LN	Orq	Col	Ana	Eval	Not	MA
Almacenamiento (Alm)			X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Interfaz de Usuario (IU)	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Comunicación (Com)		X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Servicios (Serv)	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sistema de gestión del aprendizaje (CMS)	X	X	X	X			X	X	X								X
Seguridad (Seg)		X	X	X				X		X	X						X
Motor semántico (MS)	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Motor de búsqueda (MB)	X	X	X	X	X	X	X		X			X	X	X		X	X
Componentes o herramientas sociales (Social)		X	X	X	X		X			X		X				X	X
Recomendador (Rec)	X	X	X	X		X	X				X		X	X		X	X
Lógica de Negocio (LN)	X												X		X	X	
Orquestador (Orq)		X		X			X	X	X				X				
Componentes para trabajo colaborativo (Col)	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X			X	X	X
Analítica (Ana)	X	X	X	X			X	X									
Evaluación (Ev)	X	X	X	X			X				X		X				X
Notificaciones (Not)	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X				X
Motor de adaptación (MA)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X	X	

Una vez identificados los elementos básicos (componentes y relaciones) de una arquitectura software para plataformas REA y los estilos arquitectónicos utilizados en esta familia de productos, a continuación, se describe el arquetipo de arquitectura de software para plataformas REA.

Para el arquetipo de la arquitectura software propuesta se aplican dos tipos de patrones arquitectónicos el primero es el de capas y el segundo patrón arquitectura orientada a

servicios (SOA). De esta manera, la arquitectura sigue el resultado del mapeo sistemático respecto a los estilos o patrones arquitectónicos más utilizados en plataformas REA que corresponde a la pregunta de investigación 1 y sus resultados que se mostraron en la Tabla 11. Adicional la selección se justifica por ser patrones de alta adaptabilidad y escalabilidad características requeridas en este tipo de plataformas y con una granularidad de servicio, ya que se constituyen de servicios final del usuario.

Por otro lado, no se opta por patrones que se utilizan actualmente como microservicios, dado que por su estructura implicaría un incremento en el número de componentes, que implica un incremento en el número de interacciones, así como las latencias, haciendo que los tiempos de respuesta serían mayores, siendo más vulnerable a agujeros de seguridad, aspecto crítico en estas plataformas, ya que se trabajan con datos personales.

Una vez definido que el patrón arquitectónico a utilizar es capas y servicios la representación o arquetipo se basa en el modelo de capas propuesto por la guía de Microsoft [179]. El arquetipo incluye 4 las capas de nivel superior a inferior incluyen capa de presentación, capa de servicios, capa de Componentes y la capa de Datos; así mismo se incluyen dos capas transversales a las capas mencionadas que son la Capa de Seguridad y la capa de Comunicación, a la vez la interacción con actores externos se da con usuarios a través de la capa de presentación, con otros servicios a través de la capa de servicios y de la capa de datos, y con las fuentes de almacenamiento. La Figura 64 se muestra una representación gráfica de alto nivel del arquetipo propuesto, y a continuación la descripción del propósito y subcomponentes que incluye cada una de las capas que conforman la arquitectura desde el nivel superior al inferior, y las capas transversales. Es importante mencionar que en cada una de las capas hay subcomponentes opcionales y obligatorios que soportan la línea de producto software SPL, para denotar esta diferenciación en las figuras se ha denotado los subcomponentes obligatorios se han sombreado de color gris, mientras los subcomponentes opcionales están de color blanco.

Figura 64: Marco de referencia arquitectónico para plataformas REA

Capa de Presentación

La capa de presentación, es la capa de nivel superior del arquetipo propuesto para plataformas REA. Esta capa se conforma de las componentes que constituyen la Interfaz Gráfica de Usuario (IGU) de la plataforma REA. Esta IGU ofrece interfaces a medida para Web (obligatoria) y móvil (opcional) (Figura 65), que permiten al usuario interactuar con la plataforma REA. A través de estas componentes gráficas la capa de presentación resuelve sus solicitudes, muestra los datos, recolecta datos, valida datos, controla la navegación entre las interfaces de la plataforma, ejecuta algunas reglas de negocio.

Figura 65: Capa de Presentación

Capa de Servicios

La capa de servicios es la capa que ofrece los servicios y funcionalidades que dan respuesta a las solicitudes que los usuarios u otras aplicaciones requieren de las plataformas REA. Estas solicitudes están asociadas a las funcionalidades de las plataformas REA que se identificaron en la revisión de literatura detallada en el capítulo 3. Esta capa está estructurada utilizando los niveles superiores de la taxonomía para servicios SOA señalada por Richards [116] que corresponden a servicios de negocio y servicios empresariales, y a la composición de servicios propuesta por [180].

La Figura 66 muestra una representación gráfica de la capa de servicios, donde se observan dos niveles. El nivel superior es el **nivel de servicios de negocio** asociados a las operaciones centrales que se realizan en el dominio de trabajo, en este caso las plataformas REA. Entre ellos se encuentran los servicios para gestionar contenido, gestionar elementos de aprendizaje, gestionar aprendizaje (obligatorios), recomendar contenido, analizar aprendizaje y acreditar aprendizaje (opcionales). El segundo nivel corresponde a los **servicios empresariales** son servicios concretos, que implementan la funcionalidad definida por los servicios empresariales. Generalmente, estos servicios son servicios de middleware que unen los servicios empresariales y los correspondientes servicios de aplicación o físicos. En esta capa encontramos servicios que dan soporte a: contenido, usuarios, elementos de la estructura, metadatos (obligatorios), actividades, analítica y notificaciones (opcionales). El tercer nivel está compuesto por dos tipos de servicios (i) **los servicios de aplicación** que son servicios específicos y específicos de la aplicación que están vinculados a un contexto de aplicación específico. Para nuestro caso los servicios de aplicación proporcionan una funcionalidad específica para los servicios de negocio, para este caso concreto los servicios de aplicación están orientados a cumplir las funcionalidades identificadas en la revisión literatura capítulo 3 entre ellos Crear, Consultar, Actualizar, Eliminar, Buscar (obligatorios), Personalizar, Compartir, Valorar, Empaquetar y Recolectar (opcionales). (ii) Los **servicios físicos** pueden ser utilizados por los servicios empresariales y los servicios de aplicación, de los ejemplos mencionados por [116] se aplican dos Seguridad y Autenticación (obligatorios). En la capa de servicios se incorpora un bus de servicios empresariales (obligatorio) esta principalmente orientada a coordinar la interacción entre los diferentes servicios.

Los servicios de negocio son funcionalidades que permiten al usuario realizar acciones de forma orquestada que implican la ejecución de múltiples servicios de nivel empresarial o aplicación. Por ejemplo, el crear un curso (como un tipo de contenido) o actualizarlo podría implicar las distintas formas de composición de servicios orquestada que se presentan en la Figura 67 y Figura 68. Si bien es cierto, dependiendo de las necesidades y contexto de cada REA esta composición puede variar, por este motivo en esta tesis sólo se presentan los servicios básicos (empresarial o aplicación) y los de negocio, pero no un patrón de composición para los mismos.

Figura 66: Capa de Servicios - Arquitectura plataforma REA

Figura 67: Orquestación Servicios Crear Curso

Figura 68: Orquestación servicios Actualizar Curso

Capa de Componentes

La siguiente capa de la arquitectura, es la capa de componentes software que es la que sustenta la funcionalidad y los servicios que ofrecen las plataformas REA y que se identificaron en la mapeo sistemático de la literatura detallado en el capítulo 3 y se resumieron en la Tabla 27. La Figura 69 muestra una representación gráfica de la capa de componentes Nivel 0 con algunos los componentes y su interacción a alto nivel: CMS (acrónimo de *Content Management System*), LMS (Acrónimo de *Learning Management System*), Usuarios, Gestión de Datos, Gestión de Comunicación (obligatorios), Gestión de Contexto y Analítica (opcionales).

Figura 69: Capa Componentes

A continuación, se describe cada uno de los componentes referenciados, en la capa de componentes representados en la Figura 69.

Componente CMS – El CMS acrónimo de *Content Management System* es el componente que permite la gestión del contenido, la puerta de acceso a la plataforma REA y tiene por objetivo gestionar el contenido al que puede acceder el usuario de la plataforma, es un componente obligatorio. Este componente está formado por los siguientes subcomponentes:

- Estructura: Subcomponente obligatorio que se encarga de gestionar la estructura de los contenidos en general, como, por ejemplo: sección, página o ítem de contenido.
- Contenidos: Subcomponente obligatorio que se encarga de gestionar los contenidos de la plataforma REA. Dentro de esta gestión se diferencia dos tipos de contenido: contenido informativo y contenido de aprendizaje.
- Búsqueda: El subcomponente de búsqueda es opcional permite buscar y encontrar contenido de interés del usuario.
- Recomendador: El subcomponente recomendador es opcional, realiza sugerencias de contenidos que podrían ser de interés para el usuario de la plataforma REA.

El CMS provee sus servicios a través de un puerto de acceso a la plataforma, para permitir su acceso por un usuario directo o por una plataforma externa. Además, el componente CMS se relaciona con otros componentes de la plataforma, que se describen a continuación:

- CMS – LMS: Esta relación se describió en la relación LMS – CMS.
- CMS – Gestión de Datos: Los datos y metadatos generados en el CMS son proporcionados para ser gestionados por el componente de Gestión de Datos.
- CMS – Gestión de comunicación: El CMS proporciona contenidos para la comunicación con los usuarios.
- CMS – Gestión de contexto: El componente CMS puede ser adaptado por el componente gestión de contexto.

La Figura 70 muestra una representación gráfica del componente CMS con sus subcomponentes.

Figura 70: Componente CMS

Componente LMS – El LMS acrónimo de *Learning Management System* es el módulo de gestión del aprendizaje y tiene por objetivo gestionar los elementos que se requieren para que los REA cumplan su propósito de enseñanza aprendizaje. Este componente está formado por los siguientes subcomponentes:

- Estructura: Subcomponente obligatorio que se encarga de gestionar la estructura de los contenidos de aprendizaje, por ejemplo: curso, capítulo, sub capítulo, sección o ítem de aprendizaje.
- Actividades: Subcomponente obligatorio que se encarga de gestionar las actividades de aprendizaje como son las actividades colaborativas de: Foros, Chat, wikis, juegos, etc.
- Evaluación: Subcomponente opcional que se encarga de gestionar las evaluaciones del contenido a través de diferentes de procesos constituidos por diferentes fases y utilizan diferentes instrumentos para su medida.
- Acreditación: Subcomponente opcional que se encarga de gestionar la acreditación, para aquellos usuarios que busquen acreditar el conocimiento adquirido en el proceso de aprendizaje. Esta componente tiene un carácter opcional en la arquitectura, ya que no todos los REA ofrecen la acreditación de contenidos adquiridos.

El LMS provee sus servicios a través de la interfaz “Interfaz de la plataforma REA” a la capa de presentación, para así poder interaccionar a través de ella con el usuario o plataformas externas, solicitarle la información necesaria. Además, el componente LMS se relaciona con otros componentes de la plataforma, que se describen a continuación:

- LMS – CMS: El CMS utiliza los contenidos del LMS para estructurar y definir el proceso de aprendizaje y su evaluación.
- LMS – Usuarios: Los usuarios utilizan el LMS para identificar a que contenidos tiene acceso cada usuario, y de acuerdo al perfil del usuario, proporcionarle los recursos de aprendizaje y contenido requeridos.
- LMS – Gestión de Datos: Los datos y metadatos generados en el LMS son gestionados por el componente de Gestión de Datos.
- LMS – Analítica: El LMS proporciona datos al componente Analítica para que principalmente pueda realizar un análisis del aprendizaje.

La Figura 71 muestra una representación gráfica del componente LMS.

Figura 71: Componente LMS

Componente Gestión de Datos – Este componente se enfoca en gestionar los datos y metadatos generados en la plataforma REA, así como establecer la conexión con consumidores o proveedores externos de datos; es un componente obligatorio dentro de la arquitectura. El componente Gestión de Datos esta formado por los siguientes subcomponentes:

- Metadatos: El subcomponente metadatos es obligatorio, almacena y gestiona los metadatos de los contenidos y otros elementos de la plataforma.

- **Motor Semántico:** El subcomponente es opcional, motor semántico utiliza los datos para generar estructuras semánticas.
- **Conectores Base de Datos:** El subcomponente conector a base de datos es opcional, y proporciona la posibilidad de interoperabilidad de datos entre los diferentes tipos de bases de datos que pueden existir entre ellas relacionales, no relacionales y semánticas.

Al igual que CMS, el componente Gestión de Datos provee sus servicios a través de un puerto de acceso a la plataforma, para permitir el acceso a la plataforma REA desde consumidores externos. Este componente se relaciona con otros componentes de la plataforma. Estas relaciones que se describen a continuación:

- **Gestión de Datos – LMS:** la relación se describió en la relación LMS – CMS.
- **Gestión de Datos – CMS:** se describió en la relación CMS - Gestión de Datos.
- **Gestión de Datos – Analítica:** Los datos que guarda el componente Gestión de Datos proporciona a la componente Analítica los datos requeridos para realizar su análisis.

La Figura 72 muestra una representación gráfica del componente Gestión de Datos con sus subcomponentes.

Figura 72: Componente Gestión de datos

Componente Gestión de Comunicación – El componente se enfoca en gestionar la comunicación entre algunos de los componentes internos de la plataforma REA así como con plataformas externas que lo requieran; es un componente obligatorio dentro de la arquitectura. Este componente está formado por los siguientes subcomponentes:

- **Interacción Social:** Este subcomponente es opcional y permite a los usuarios de las plataformas REA compartir contenido a través de otros componentes o API de plataformas sociales.
- **Notificaciones:** Este subcomponente es opcional y permite a la plataforma comunicarse con los usuarios a través de mensajes SMS, mail u otros medios.

El componte Gestión de Comunicación también permite la interacción directa con el exterior de la plataforma gracias a su conexión con un puerto para comunicación externa de la plataforma. Además, este componente se relaciona con otros componentes de la plataforma, que se describen a continuación:

- **Gestión de Comunicación – LMS:** el LMS remite al componente Gestión de Comunicación las notificaciones que deben realizar, así como actividades u otros elementos a comunicar con APIs externas.

- **Gestión de Comunicación – CMS:** El componente CMS proporciona al componente de Comunicación las notificaciones de contenido que debe realizar, así como contenidos a compartir con APIs externas.
- **Gestión de Comunicación – Usuarios:** El componente gestión de la comunicación, notifica a los usuarios de la plataforma REA.

La Figura 73 muestra una representación gráfica del componente gestión de comunicación, con sus subcomponentes.

Figura 73: Componente Gestión de comunicación

Componente Gestión de Contexto – El componente de gestión de contexto proporciona las funcionalidades asociadas con la sensibilidad al contexto para la personalización de contenidos, actividades o estructura. Este componente está formado por los siguientes subcomponentes:

- **Adaptación de contexto,** el subcomponente adaptación de contexto es opcional permite personalizar algunos aspectos de la plataforma REA en función de parámetros como perfil del usuario, lugar de donde se realiza la conexión, entre otros.
- **Traducción,** el subcomponente traducción es opcional y es parte de las opciones de personalización de la plataforma REA.

Este componente al ser sensible al contexto requiere una relación directa con el exterior, por ello tiene comunicación directa con un puerto para comunicación externa, y así establecer un medio para interactuar con el exterior de la plataforma. Además, este componente se relaciona con otros componentes de la plataforma, que se describen a continuación:

- **Gestión de Contexto – LMS:** La gestión de contexto permite que algunos elementos del LMS sean personalizados en función del perfil del usuario, del lugar de conexión o preferencias del usuario, para ello es necesaria la interacción entre ambos componentes.
- **Gestión de Contexto – CMS:** La gestión de contexto permite que algunos elementos del CMS sean personalizados en función del perfil del usuario, del lugar de conexión o preferencias del usuario, para ello es necesaria la interacción entre ambos componentes.
- **Gestión de Contexto – Usuarios:** Los usuarios proporcionan a la gestión del contexto información sobre sus preferencias en la interfaz habilitada para ello y que conecta los mencionados componentes.

La Figura 74 muestra una representación gráfica del componente gestión de contexto, con su subcomponentes

Figura 74: Componente gestión de contexto

Componente Usuarios – El componente usuarios es opcional en la arquitectura dado que hay plataformas REA que permiten la consulta de los contenidos sin necesidad de estar registrado como usuario, en las plataformas que aparece este componente realiza la gestión de los usuarios, sus perfiles y relaciones con otros componentes. Este componente tiene un acceso directo para utilizar las funcionalidades de la plataforma REA a través de la interfaz Identificación de uno de los puertos de acceso a plataforma. Este componente se relaciona con otros componentes de la plataforma REA, que se describen a continuación:

- Usuarios – LMS: Esta relación se describió en la relación LMS – Usuarios.
- Usuarios – Gestión de Contexto: Esta relación se describió en la relación Gestión de Contexto – Usuarios.

La Figura 75 muestra una representación gráfica del componente Usuarios

Figura 75: Componente Usuarios

Componente Analítica – El componente de analítica, como su nombre indica, realiza un análisis de diferentes aspectos o datos de la plataforma, por ejemplo: analítica de datos o del aprendizaje. Este componente se relaciona con otros componentes de la plataforma, que se describen a continuación:

- Analítica – Gestión de datos: Esta relación se describió en la relación Gestión de datos – Analítica.
- Analítica – LMS: Esta relación se describió en la relación LMS - Analítica.
- Analítica – CMS: Esta relación se describió en la relación CMS - Analítica.
- Analítica – Usuarios: Esta relación se describió en la relación Usuarios - Analítica.

La Figura 76 muestra una representación gráfica del componente Analítica

Figura 76: Componente Analítica

Capa de datos

En la parte inferior de la arquitectura se observa la capa de datos que proporciona los datos requeridos para el funcionamiento de los componentes y servicios de la plataforma REA, de la revisión bibliográfica realizada en el capítulo 3 se puede identificar varios tipos de datos con los que este tipo de plataformas pueden interactuar entre ellas, bases de datos relacionales no relacionales, repositorios locales o en la nube, bases de datos semánticas, entre otros. Por tanto, en esta capa se propone incluir conectores para cada uno de los tipos de bases de datos identificadas, en la se muestra la representación gráfica de los componentes de esta capa. Cabe mencionar que esta capa interactúa con el o los elementos de Almacenamiento que proporcionan datos a la arquitectura, conforme se observa en la Figura 64 de la Arquitectura propuesta para plataformas REA. A continuación en la Figura 77 se muestra los componentes de la capa de datos conformada por conectores para cada uno de los tipos de bases de datos identificadas en este tipo de plataformas, así como con datos de otras plataformas o herramientas.

Figura 77: Capa de Datos

Capa de Comunicación

Esta capa es transversal a las capas de presentación, servicios, componentes y datos, esta capa habilita la comunicación e interoperabilidad entre los usuarios o actores externos, las interfaces, los servicios y las componentes de la arquitectura. Esta capa está formada por un *middleware* que es un componente obligatorio, este permite la comunicación de la capa con cada uno de las capas que comunica, así mismo se considera un componente de interoperabilidad que permite la comunicación interoperable entre de datos de diferentes tipos de bases de datos, o entre las diferentes formas de comunicación generadas por diferentes herramientas o plataformas, la Figura 78 muestra una representación gráfica de los elementos de la capa de comunicación.

Figura 78: Capa de Comunicación

Capa de seguridad

Esta capa es también transversal a las capas de la arquitectura, esta capa implementa los mecanismos de seguridad requeridos a nivel de datos, componentes, servicios,

presentación y usuarios. Esta capa está formada por la implementación de seguridad en el acceso a través de la autenticación (opcional) y seguridad de los datos que se comparten en todas las capas de la arquitectura (obligatoria). La Figura 79 muestra una representación gráfica de los elementos de la capa de comunicación

Figura 79: Capa de Seguridad

5.6 Trazabilidad del OVM con la Arquitectura

La construcción de una línea de producto requiere establecer cómo las características en los modelos de variabilidad son soportados e implementados por los activos del producto. En esta tesis, en particular, se hace hincapié en qué componentes de la arquitectura deberán implementar cada una de las variantes de la línea de producto. De esta manera, se podrá discernir cualquier cambio del modelo variabilidad en qué medida impactará en la arquitectura y, por ende, en el producto software, lo que puede dar una medida de coste económico y temporal del cambio. Así mismo, definir esta traza permite garantizar la consistencia entre las variantes seleccionadas funcionales y no funcionales y su implementación en el producto final.

A continuación, se define la relación entre el modelo de variabilidad ortogonal funcional descrito en el apartado 5.2.1, así como los modelos de variabilidad no funcionales de accesibilidad y usabilidad definidos en los apartados 5.4 y 5.5 respectivamente y los componentes arquitectónicos. Si bien es cierto, dado que la arquitectura propuesta es un arquetipo y no se ha definido a un nivel detallado de clases, la trazabilidad se ha definido con los distintos puntos de variabilidad que constituyen los OVMs, en lugar de a nivel de variante, que correspondería con las clases. Por motivos de legibilidad, dicha trazabilidad se ha dispuesto en forma de tabla de forma que establece cada punto de variabilidad en qué componentes arquitectónicos se implementan y se muestran en la Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31.

Tabla 29: Traza VP Funcionales con componentes de la arquitectura

VP Funcional / Variante	Opcional / Obligatorio	Componente Arquitectura
VP1 Gestión de contenido	Obligatorio	CMS
VP2 Gestión de estructura	Obligatorio	CMS Gestión de Datos
VP3 Gestión de usuarios y perfiles	Opcional	Usuarios Gestión de Datos
VP4 Gestión de Actividades	Opcional	LMS
VP5 Gestión de Contexto	Opcional	Gestión de contexto
VP6 Otros		
V6.1 Seguimiento de calificaciones	Opcional	LMS Gestión de Datos
V6.2 Secuencia o flujo	Opcional	Analítica
V6.3 Autenticación	Opcional	Usuarios

		Gestión de Datos
V6.4 Analítica de datos	Opcional	Analítica
V6.5 Acreditación	Opcional	Gestión de Datos
V6.6 Traducción	Opcional	LMS
V6.7 Notificaciones	Opcional	Gestión de comunicación
V6.8 Gamificación	Opcional	Gestión de contexto
V6.9 Reportes	Opcional	Gestión de Datos Analítica

Tabla 30: Trazo VP de Accesibilidad con componentes de la arquitectura

VP Accesibilidad / Variante	Componente Arquitectura
VP1 Perceptible	Interfaz de Acceso CMS Gestión de comunicación
V1.1 Texto Alternativo	Interfaz de Acceso CMS
V1.2 Tiempo en medios	Interfaz de Acceso CMS Gestión de comunicación
V1.3 Adaptable	Gestión de contexto CMS Interfaz de Acceso Gestión de comunicación
V1.4 Distinguishable	Interfaz de Acceso Gestión de contexto
VP2 Operable	Interfaz de Acceso CMS LMS Gestión de comunicación
V2.1 Accesible por teclado	Interfaz de Acceso CMS
V2.2 Tiempo suficiente	Interfaz de Acceso CMS
V2.3 Tamaño y reacciones física	Interfaz de Acceso CMS Analítica Gestión de contexto
V2.4 Navegable	Interfaz de Acceso CMS
V2.5 Modalidad de ingreso de datos	Interfaz de Acceso CMS
VP3 Comprensible	Interfaz de Acceso CMS Gestión de comunicación
V3.1 Legible	Interfaz de Acceso CMS Gestión de comunicación
V3.2 Predecible	Interfaz de Acceso CMS Analítica Gestión de contexto
V3.3 Asistencia	CMS Usuarios Gestión de Comunicación
VP4 Robusto	CMS Gestión de Datos Seguridad

V4.1 Compatible	CMS Gestión de Datos Gestión de Comunicación
-----------------	--

Tabla 31: Traza VP de Usabilidad con componentes de la arquitectura

VP Usabilidad / Variante	Componente Arquitectura
VP1 Aspectos Generales	Interfaz de Acceso CMS
VP2 Identidad e información	Interfaz de Acceso CMS Gestión de comunicación
VP3 Estructura y Navegación	Interfaz de Acceso CMS
VP4 Diseño de página	Interfaz de Acceso CMS
VP5 Facilidad de interacción	Interfaz de Acceso CMS Gestión de comunicación
VP6 Búsqueda	Interfaz de Acceso CMS
VP7 Ayuda	Interfaz de Acceso CMS

Capítulo 6: Validación de AUREA: Iniciativa REA de Open Course ware y MOOC de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL)

Este capítulo aborda la validación del trabajo realizado y el objetivo específico OE5: Validar el *framework* AUREA de dos formas: (i) Demostrando que es capaz de medir la accesibilidad y usabilidad de al menos un contenido o una plataforma/sistema REA existente, ofreciéndole como resultado propuestas de mejora y (ii) Demostrando que es capaz de generar una configuración inicial de arquitectura software para la creación de un nuevo REA que potencie accesibilidad y usabilidad. Para ello se ha aplicado AUREA, descrito en el capítulo 4, a un caso de estudio en particular, la iniciativa REA de OCW y MOOC de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).

6.1 Hipótesis

La validación tiene por objeto validar el framework definido en la tesis para la construir y mejorar plataformas de Recursos Educativos Abiertos (OCW y MOOC) orientadas a la Accesibilidad y Usabilidad. La validación de AUREA se ha establecido a partir de la definición de las siguientes hipótesis:

- AUREA es capaz de medir la accesibilidad y usabilidad de contenidos REA existentes ofreciéndoles propuestas de mejora
- AUREA es capaz de establecer la arquitectura software para la creación de una nueva plataforma REA de contenidos que quiera potenciar su accesibilidad y usabilidad mediante la selección de características de la línea de productos de AUREA.

6.2 Método

El método a aplicar para validar las hipótesis debía proporcionar tanto información cualitativa como cuantitativa y también debía ser aplicado a un contexto real, por ello, se optó por el método de caso de estudio. Yin en [181] confirma que el método de caso de estudio cumple con estas características. Así mismo, Runeson & Höst [182] menciona que los casos de estudio son una técnica de investigación que permite estudiar e investigar fenómenos contemporáneos en su contexto natural con el objetivo de buscar evidencias, incrementar conocimiento, o probar teorías utilizando un análisis cualitativo.

6.3 Contexto del caso de estudio

La UTPL es una institución de Educación Superior en el Ecuador; cuenta con 48 años de experiencia en la formación de profesionales en Modalidad Presencial y 44 años en Educación a Distancia, siendo la pionera en Latinoamérica en esta modalidad de estudios de Educación a distancia con centros universitarios en todo el país así como centros internacionales en Bolivia, New York, Madrid y Roma⁶. Dos de sus líneas estratégicas

⁶ https://www.utpl.edu.ec/centros_utpl/

son la Educación a distancia y el desarrollo tecnológico, incursionado en diferentes iniciativas orientadas a utilizar las TICs como soporte al proceso de enseñanza aprendizaje principalmente en educación a distancia.

En el 2010, se lanzó la iniciativa *Open CourseWare* (OCW) UTPL con el propósito de proporcionar acceso libre a los materiales de algunos de los cursos que se ofrece en sus modalidades de estudio, la iniciativa forma parte del consorcio OC. El sitio OCW de la UTPL se encuentra implementado sobre Educommons⁷ un *Content Management System* (CMS) especializado a la gestión de *CourseWare* [183] la interface de la iniciativa OCW UTPL se puede observar en la Figura 80.

Por otro lado, la UTPL incursiona también en la tendencia MOOC desde el año 2014. En un inicio, la plataforma se implementó en Moodle MOOCs UTPL, y posteriormente, en 2016 se incorporó la plataforma Edx para MOOC con la iniciativa *Open Campus*. En la actualidad, las dos iniciativas coexisten con una oferta de 14 cursos y 44 cursos, respectivamente. La interface de la iniciativa MOOC UTPL se puede observar en la Figura 81.

Figura 80: Interface iniciativa OCW UTPL

⁷ <https://plone.org/products/educommons>

6.4 Validación de la metodología

En esta sección se describe la aplicación del componente de Evaluación y Mejora de Accesibilidad y usabilidad en plataformas REA de AUREA (ver capítulo 4, apartado 4.2.3), para la evaluación de la accesibilidad y usabilidad de la iniciativa OCW de la UTPL tomada como caso de estudio, para así, demostrar su capacidad de medir la accesibilidad y usabilidad de contenidos o plataformas/sistemas REA existente, ofreciéndole como resultado propuestas de mejora. A continuación, se describe la aplicación de cada uno de los pasos propuestos en la metodología a la iniciativa OCW de la UTPL.

6.4.1. Alcance y objetivo de la evaluación

La aplicación del componente de Evaluación y Mejora de Accesibilidad y usabilidad en plataformas REA de AUREA tiene como objetivo tener una valoración cuantitativa la accesibilidad y usabilidad web de una iniciativa OCW de la UTPL, así como identificar las principales limitaciones en cuanto a accesibilidad y usabilidad, que al solucionarlas serían mejoras para incrementar el acceso y uso de cualquier sitio OCW de la UTPL.

Los objetivos planteados que persigue la evaluación, son:

- Medir el nivel de accesibilidad y usabilidad de la plataforma OCW UTPL.
- Proporcionar mejoras a los errores de accesibilidad y usabilidad que se identifique respecto al marco.

6.4.2. Exploración del Sitio Web

La exploración del sitio web consistió en revisar los siguientes elementos de la iniciativa OCW UTPL:

Formato de Páginas web: La página principal tiene una estructura de contenidos definida, mientras las páginas internas de los sitios OCW son páginas que corresponden a cursos donde la estructura está definida y es común.

Funcionalidad esencial: La funcionalidad esencial de este tipo de sitios es la de un manejador de contenidos CMS (*Content Management System*), para el caso de estudio OCW UTPL se encuentra implementado sobre el CMS Educommons, que presta las siguientes funcionalidades [183] (i) Gestionar menús y submenús de asignaturas y categorías acordes con el proyecto OCW, (ii) Proporcionar (subir) contenidos de cursos y archivos (pdf, word, excel, imágenes), (iii) Descargar contenidos (planificaciones de cursos, archivos de cualquier tipo que se han subido a la plataforma), (iv) Personalizar la plataforma con la imagen Institucional, (v) Crear elementos de organización de contenidos como: carpetas, enlaces, tablas, edición de texto, reportes, propiedad intelectual, licencias, (vi) Proporcionar soporte para exportación e importación de paquetes, posibilidad de alta de contenidos mediante importación de un archivo comprimido “.zip”, (vii) Especificar contenidos utilizando estándares como IEEE 1484.12.1-2002 *Learning Object Metadata Standard* (IEEE LOM) e ISO 15836 *Dublin Core Metadata* (Dublin Core), (viii) Gestionar metadatos y (ix) Exportar e importar en formatos estándar.

Tipos de páginas web identificadas: Los sitios OCW en su mayoría están formados de tres tipos de páginas (i) Página de inicio (ii) Páginas de la carrera o categoría que agrupan los cursos OCW y (iii) Páginas del contenido del curso OCW.

Tecnologías Web: La tecnología en la que está implementado el OCW de la UTPL es Educommons versión 3.2.1. Educommons está diseñado bajo arquitectura Zope⁸, con una base de datos ZODB, y basado en el sistema de contenidos Plone⁹, que permite interacción con el usuario final.

6.4.3. Seleccionar una muestra representativa

Para la selección de la muestra considerando el caso de estudio seleccionado OCW UTPL, por observación se identifican alrededor de 150 páginas web asociadas, considerando la página principal, 8 páginas internas (información del curso, plan de contenidos, guía de aprendizaje, material de estudio, evaluaciones, prácticas y ejercicios, bibliografía y equipo docente) por cada uno de los 13 cursos disponibles agrupados en 5 categorías:

- Economía: Álgebra, Cálculo, y Estadística.
- Educación Continua: Computación Básica
- Ingeniería civil: Topografía Aplicada, y Topografía Elemental

⁸ <http://www.zope.org/>

⁹ <http://plone.org/>

- Instituto de pedagogía: Elaboración de guías didácticas para Modalidad Abierta y a Distancia, La Educación a distancia fundamentos, teorías y contribuciones, y Material impreso en Educación a distancia
- Sistemas informáticos y computación: Fundamentos informáticos, Fundamentos matemáticos, Fundamentos de la programación, y Matemática discreta.

6.4.4. Auditoría de la muestra

La auditoría de la muestra en sí consiste en aplicar los dos tipos de evaluación de accesibilidad conforme sugiere el componente de Evaluación y Mejora de Accesibilidad y usabilidad en plataformas REA de AUREA que se describen a continuación:

6.4.4.1 Evaluación de Accesibilidad

Para realizar la **evaluación automática** se aplica una de las herramientas sugeridas en la metodología de evaluación y mejora del marco AUREA que evalúan el estándar WCAG 2.0. En este caso, TAW proporcionó un nivel de accesibilidad A proporcionando 8% de errores de nivel A, 9% de errores de nivel AA y 10% errores de nivel AAA. Por lo que se puede sumar los porcentajes de error dando un 27% de incumplimiento del estándar por tanto se deduce un 73% de cumplimiento de accesibilidad.

La **evaluación manual de la accesibilidad**, al igual que la automática, toma el estándar de WCAG 2.0 tal como lo indica la metodología. Inicialmente se identificó como población seleccionada los estudiantes de la UTPL de la titulación de Sistemas Informáticos y Computación, modalidad presencial. Para calcular el tamaño de la muestra se utiliza la fórmula de Triola en [184].

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Dónde:

Variable	Descripción	Valor
<i>N</i>	Tamaño de la muestra	Por definir
<i>N</i>	Tamaño de la población (número de estudiantes UTPL, carrera de sistemas informáticos y computación, modalidad presencial, correspondiente al periodo Abril/Agosto 2014	280
	Desviación Estándar de la población, cuando no se define explícitamente, se toma el valor constante de 0,5	0,5
<i>Z</i>	Valor obtenido mediante niveles de confianza. Cuando no se tiene su valor se utiliza un valor en relación al 95 % de confianza	1,96
<i>E</i>	Limite aceptable de error muestral, cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09).	0,05

Aplicando la fórmula, el tamaño de la muestra obtenido es de 132 usuarios reales donde se identifican dos tipos de usuarios: con conocimiento a recursos OCW y sin conocimiento de recursos OCW, sin embargo, ésta diferencia es transparente para el usuario. El test de accesibilidad utilizado considera los 61 criterios de WCAG 2.0 categorizados por cada uno de los 4 principios y prioridad, que se valoran utilizando la escala:

- Alto: Criterio con alto grado de cumplimiento.
- Medio: Moderados porcentaje de cumplimiento

- Bajo: No presencia de criterios establecidos, es decir que no cumple.

Los resultados se obtuvieron mediante la sumatoria de los checks que realizaron los usuarios en cada criterio; siendo 61 criterios y 132 usuarios que evalúan el sitio OCW, se registran 8052 checks correspondientes al 100%, donde el 40% se ubicaron en nivel Alto, el 49% Medio y el 11% Bajo.

Con el objeto de obtener parámetros comparables con los obtenidos de la evaluación automática se enfoca puntualmente en el porcentaje obtenido en el nivel bajo, considerados problemas ya que corresponde a aquellos criterios de accesibilidad que no se cumplen o están ausentes, por nivel de accesibilidad siendo 3% errores de nivel A, 3% de errores de nivel AA y 4% errores de nivel AAA. Por otro lado, los aspectos con valoración media que corresponden al 49% se divide equitativamente es decir se considera que un 24,5% son aciertos y 24,5% errores, que se suman la 11% dan un total de 34,5% de no cumplimiento de los parámetros de evaluación, de donde se puede deducir un 65,5% de accesibilidad.

Promediando el porcentaje de accesibilidad obtenido en la evaluación automática 73% y el porcentaje en la evaluación manual 65,5% se obtiene un nivel de accesibilidad del 69,25% que de acuerdo a la escala de Hilera corresponde a un nivel de Accesibilidad Moderado.

6.4.4.2 Evaluación de Usabilidad

Para la evaluación automática de usabilidad se utilizaron las herramientas sugeridas en la metodología de evaluación y mejora del marco AUREA para evaluar la eficiencia y eficacia, los resultados obtenidos de la aplicación de Google PageSpeed y Google Analytics se muestran en la Tabla 32. Como se menciona en la metodología esta evaluación automática no proporciona una evaluación cuantitativa o porcentaje de usabilidad, es más bien información cualitativa de errores a solucionar.

Tabla 32: Resultados obtenidos de la herramienta PageSpeed Insights

Prioridad	Descripción	Descripción del Error
Velocidad de Carga	PC's: 68/100	
	Móviles: 56/100	
Muy Alta	Problemas en el almacenamiento del caché en el navegador	Esta regla se activa cuando PageSpeed Insights detecta que la respuesta del servidor del usuario no incluye cabeceras de caché explícitas o que especifica que los recursos se almacenen en caché durante poco tiempo.
	Habilitar la compresión	Este error se activa cuando la herramienta detecta que los recursos de la página que se pueden comprimir no se han procesado con compresión HTTP.
Alta	Eliminar el procesamiento de bloqueo de JavaScript y CSS en el contenido del primer pantallazo de visualización	Esta regla se activa cuando PageSpeed Insights detecta que el código HTML hace referencia a algún archivo JavaScript externo que bloquea la visualización de contenido en la mitad superior de la página.

Minimizar CSS	Esta advertencia se da porque el tamaño de uno de los recursos podría reducirse mediante minimización. La minimización de recursos se refiere a la eliminación de bytes innecesarios, como se dan en los espacios adicionales, saltos de línea y sangrías. Al minimizar los códigos HTML, CSS y JavaScript, es posible acelerar la descarga, el análisis y el tiempo de ejecución.
Reducir el tiempo de respuesta del servidor	Esta regla se activa cuando PageSpeed Insights detecta que el tiempo de respuesta del servidor es superior a 200 ms. El tiempo de respuesta del servidor indica lo que tarda en cargar el código HTML necesario para mostrar la página desde el servidor, restando la latencia de red entre Google y el servidor. Puede haber diferencias entre una carga y otra, pero no deberían ser muy marcadas. De hecho, un tiempo de respuesta del servidor muy variable podría indicar un problema de rendimiento subyacente.
Optimizar imágenes	Se activa cuando PageSpeed Insights detecta que las imágenes de la página se pueden optimizar para reducir su tamaño sin afectar su calidad visual.
Minimizar HTML	Se activa cuando se detecta que el tamaño de uno de los recursos podría reducirse mediante alguna minimización. La minimización de recursos se refiere a la eliminación de bytes innecesarios, como los espacios adicionales, saltos de línea y sangrías.
Minimizar JavaScript	Se activa cuando se detecta que el tamaño de uno de los recursos podría reducirse mediante alguna minimización. La minimización de recursos se refiere a la eliminación de bytes innecesarios, como los espacios adicionales, saltos de línea y sangrías. Al minimizar los códigos HTML, CSS y JavaScript, es posible acelerar la descarga, el análisis y el tiempo de ejecución.

La **evaluación manual de usabilidad** complementa la evaluación automática de usabilidad realizada, con los 83 criterios de evaluación propuestos Sirius [82] escrito en el apartado 2.5, estos aspectos se centran en la Satisfacción y a través de la escala propuesta obtener un porcentaje de usabilidad del sitio.

La población de usuarios considerada fue la misma que para la accesibilidad la titulación de Sistemas Informáticos y Computación, modalidad presencial; dado que Sirius es un sistema que se fundamenta en la revisión de heurísticas con expertos, la muestra utilizada fue de 21 estudiantes de los últimos niveles de la titulación, específicamente octavo ciclo, considerando que la titulación consta de 10 ciclos. Para obtener el porcentaje de usabilidad, se debe procesar los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento¹⁰ que considera los 10 aspectos y 83 criterios definidos por Sirius a cada experto, de acuerdo al procedimiento definido, el porcentaje de usabilidad del sitio se obtiene del promedio de los resultados obtenidos en cada cuestionario y corresponde al 69,44% que de acuerdo a la escala de Hilera [77] corresponde a un nivel de Usabilidad Moderado.

¹⁰ <https://fauocw.wordpress.com/instrumento-evaluacion/>

6.4.5. Informar resultados de evaluación

En la auditoría de la muestra realizada en el apartado anterior además se identificaron errores concretos a subsanar tanto de accesibilidad y usabilidad obtenidos de la evaluación automática como en la evaluación manual, los resultados de problemas identificados por principio, criterio y nivel identificados en el caso de estudio para accesibilidad se sintetizan en la Tabla 33.

Tabla 33: Errores de accesibilidad identificados en el caso de estudio OCW UTPL

Principio	Criterio	Nivel	Problema
Perceptible	1.1.1 Contenido no textual: Todo contenido no textual que se presenta, cuenta con texto alternativo con propósito equivalente.	A	Imágenes sin alternativas textuales
			Imágenes con “alt” sospechoso
			Imágenes decorativas con atributo title
			Enlaces consecutivos de texto
	3.3.1. Identificación de errores: Si se detecta un error de entrada de datos, se identifica el ítem erróneo automáticamente y se describe al usuario por medio de texto	A	Controles de formulario en campos obligatorios
	1.4.6. Contraste (mejorado): La presentación visual del texto y de las imágenes de texto tiene una relación de contraste de 7 : 1 a excepción de texto grande, incidental o logotipos.	AAA	Presentación visual
Operable	2.4.9 Propósito de un vínculo (vínculo único): No deberán existir enlaces con el mismo texto que vinculen a lugares diferentes	AAA	Enlaces sin contenido
Comprensibles	3.3.6. Prevención de errores: En sitios donde el usuario realiza envío de información se debe proporcionar opciones de control como revertir, comprobado o confirmado.	AAA	Identificar los valores erróneos en formulario

De igual forma, respecto a usabilidad la Tabla 34 muestra por cada aspecto, criterio y prioridad de Sirius una síntesis de los errores de usabilidad identificados en el caso de estudio OCW UTPL.

Tabla 34: Errores de usabilidad identificados en el caso de estudio OCW UTPL

Atributo	Aspecto	Criterio	Prioridad	Problema
Satisfacción	Aspectos generales	AG2: Contenidos y servicios ofrecidos precisos y completos	MUY ALTA	Los servicios disponibles no sean fácilmente identificables en el sitio OCW
	Identidad e Información	II7: Se ofrece información sobre el autor, fuentes y fechas de creación y revisión del documento en artículos, noticias, informes	ALTA	No ubicar información como el autor, fecha de creación y actualización de contenidos en el sitio OCW
	Estructura y Navegación	EN2: Estructura de organización y navegación adecuadas	MUY ALTA	La organización de los contenidos e índices de navegación de contenidos, en forma jerárquica no sea la adecuada en el sitio OCW.
	Entendibilidad y facilidad en la interacción	EF1: Se emplea un lenguaje claro y conciso.	MUY ALTA	El lenguaje utilizado en el sitio OCW es demasiado técnico o complejo lo que dificulta su lectura
	Búsqueda	BU1: Si es necesaria, se encuentra accesible desde todas las páginas del sitio	MUY ALTA	La opción de búsqueda para el sitio OCW no es accesible desde todas las páginas del sitio OCW.
		BU5: Sistema de búsqueda simple y claro.		El sistema de búsqueda en el sitio OCW no es simple y claro para el usuario.
	Ayuda	AY2: Fácil acceso y retorno al/del sistema de ayuda	ALTA	Ausencia de ayuda

Con el resultado cualitativo obtenido con los errores y problemas de accesibilidad y usabilidad que se identificaron en la iniciativa tomada como caso de estudio, el siguiente paso es obtener las propuestas de mejora requeridas, para ello se asocia los principios y criterios de los errores de accesibilidad, o por aspecto y criterios de usabilidad en el Marco de mejoras de la accesibilidad ISO40500 y usabilidad ISO9241 de sistemas o plataformas REA de EUREA, obteniendo las mejoras o soluciones para cada uno de los problemas como se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35: Mejoras o soluciones a los problemas de accesibilidad y usabilidad identificados en el caso de estudio OCW UTPL

Código Criterio	Problema	Mejora / Solución
	Accesibilidad	
1.1.1	Imágenes sin alternativas textuales	Incluir texto alternativo a todo contenido no textual
	Imágenes con "alt" sospechoso	
	Imágenes decorativas con atributo title	
	Enlaces consecutivos de texto	
3.3.1	Controles de formulario en campos obligatorios	Proporcionar el control, retroalimentación y validación de los datos que ingrese el usuario de en el sitio REA.
1.4.6	Presentación visual	Incluir contenidos e imágenes utilizando colores de primer plano con contraste igual o mayor a 7:1
2.4.9	Enlaces sin contenido	Eliminar enlaces con el mismo texto que enlacen a páginas diferentes dentro del sitio REA.
3.3.6	Identificar los valores erróneos en formulario	Permitir a los usuarios el control, retroalimentación y validación de los datos que ingresa al sitio REA
	Usabilidad	
AG2	Los servicios disponibles no sean fácilmente identificables en el sitio OCW	Los servicios de la plataforma REA están claramente identificados.
II7	No ubicar información como el autor, fecha de creación y actualización de contenidos en el sitio OCW	Ubicar información como el autor, fecha de creación y actualización de contenidos en el sitio REA.
EN2	La organización de los contenidos e índices de navegación de contenidos, en forma jerárquica no sea la adecuada en el sitio OCW.	Establecer una organización y estructura de navegación (índice) comprensible por el usuario en el sitio REA.
EF1	El lenguaje utilizado en el sitio OCW es demasiado técnico o complejo lo que dificulta su lectura	Emplear un lenguaje adecuado, claro y conciso en la plataforma REA.
BU1	La opción de búsqueda para el sitio OCW no es accesible desde todas las páginas del sitio OCW.	La opción de búsqueda para el plataforma REA sea accesible desde todas las páginas del plataforma REA.
BU5	El sistema de búsqueda en el sitio OCW no es simple y claro para el usuario.	El sistema de búsqueda en la plataforma REA debe ser simple y claro para el usuario.
AY2	Ausencia de ayuda	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar la opción de Ayuda que cuente con información sencilla y fácil de entender -Tener una lista de preguntas frecuentes personalizadas y orientadas a la realidad de la plataforma REA

Con los resultados obtenidos en el caso de estudio aplicando el componente de Evaluación y Mejora de Accesibilidad y usabilidad en plataformas REA de AUREA se comprueba que el marco es capaz de medir el nivel de accesibilidad y usabilidad de una plataforma REA, y ofrecer como resultado propuestas de mejora de accesibilidad y usabilidad.

6.5 Validación de la SPL

Para obtener evidencia de la viabilidad del OVM de accesibilidad definido en el apartado 5.4 el capítulo 5 y demostrar que es capaz de generar una configuración inicial de arquitectura software para la creación de una nueva plataforma REA centrada en accesibilidad y usabilidad, se pone en práctica en un caso de estudio donde en lugar de desarrollar un sitio web desde cero, se ha derivado la configuración de un MOOC existente a partir de la línea de producto SPL. Específicamente, el producto derivado es el MOOC de la UTPL [185]. El MOOC UTPL tiene 12 cursos disponibles y está compuesto por 100 páginas web que tienen muchas funcionalidades, como administración de contenido, administración de usuarios, búsquedas, instalaciones de interfaz de usuario, etc. A continuación, se describen los pasos realizados para la validación.

6.5.1 Objetivo de la validación

Como la integridad de las funciones de accesibilidad ya está garantizada por el hecho de que están definidas por pautas estándar estandarizadas, sabemos que el OVM de accesibilidad considera las funciones requeridas para modelar la accesibilidad en aplicaciones de contenido web. Por lo tanto, en este caso de estudio nos centramos en la medición de accesibilidad para ayudar al ingeniero durante la derivación de un producto con la línea de producto SPL y, por lo tanto, obtención de un producto. Eso maximiza la accesibilidad. Para ello se han planteado tres preguntas que deben responderse a través del análisis del estudio de caso y se han formulado las preguntas de investigación (PI) de la siguiente manera:

PI1. ¿El OVM de accesibilidad y su modelo de información de calidad pueden proporcionar una medida de la accesibilidad del sistema a partir de la derivación de un producto?

PI2. ¿Puede este mecanismo recomendar qué características deben seleccionarse durante la derivación para mejorar la accesibilidad de un producto derivado anterior?

PI3. ¿Es posible proporcionar un prototipo de arquitectura a partir del modelo de variabilidad funcional, de accesibilidad y usabilidad seleccionados?

6.5.2 Resultados

Para responder la PI1. El primer paso fue configurar el producto de MOOC UTPL de la línea REA SPL derivando durante la ingeniería de aplicación la configuración funcional y de accesibilidad. En particular, la derivación se realizó desde la página principal y algunos MOOC páginas al azar. El resultado de esta derivación de la Accesibilidad. El modelo se presenta en la Figura 82 a partir de las variantes seleccionadas de la OVM

de accesibilidad ilustrada en la Figura 82, la información del atributo de calidad se calcula durante la fase de configuración.

Figura 82: Configuración actual de accesibilidad del MOOC UTPL

La Tabla 36 ilustra los resultados de la evaluación de accesibilidad después de la ingeniería de aplicación para este producto. Los valores para cada punto de variabilidad se obtienen aplicando la fórmula asociada que es el promedio del valor de los criterios de éxito, por ejemplo, el VP1.3 es el resultado del promedio de sus variantes V1.3.1, V1.3.2, V1.3.3, V1.3.4, V1.3.5, V1.3.6 en el caso de estudio, ninguna de estas variantes está presente en el caso de estudios para los cuales el valor de VP1.3 es 0. Un promedio total de 0,18 significa que tiene un nivel de accesibilidad A como media, pero no todas las variantes de A están implementadas. Esta es una evidencia de que el modelo propuesto permite proporcionar una medida y una etiqueta de accesibilidad a un producto específico y revelar que el sitio debe mejorarse.

Tabla 36: Resultados de evaluación de Accesibilidad del UTPL MOOC

Notación en OVM de Accesibilidad	Guía / Criterio ISO 40500	Nivel de Accesibilidad	Peso % en el nivel de Accesibilidad
VP1	Perceivable		
V1.4.1	Use of color	A	0,84%
V1.4.3	Contrast minimum	AA	1,68%
V1.4.4	Resize text	AA	1,68%
VP2	Operable		
VP2.1	Keyboard Accessible		
V2.1.1	Keyboard	A	0,84%
V2.1.3	Keyboard (No exception)	AAA	2,52%
VP2.4	Navigable		
V2.4.2	Page Titled	A	0,84%
V2.4.5	Multiple Ways	A	0,84%
V2.4.6	Headings and Labels	AA	1,68%
V2.4.7	Focus Visible	AA	1,68%
V2.4.10	Section Headings	AAA	2,52%

VP3	Understandable		
VP3.1	Readable		
V3.1.1	Language of Page	A	0,84%
TOTAL			15,97%

Para responder la segunda pregunta (PI2) atendiendo a la trazabilidad establecida (ver capítulo 5 apartado 5.6 Capa de Componentes, es posible determinar que la arquitectura de este modelo de variabilidad es el que se presenta a continuación en la Figura 83:

Figura 83: Diagrama de componentes de la arquitectura actual MOOC UTPL derivada de la SPL

Para responder la segunda pregunta (PI2) y como segundo ejercicio y en base a trabajos anteriores y nuestra experiencia en el área [6], hemos utilizado el modelo para configurar un producto seleccionando las características de accesibilidad mínimas deseables a las que un producto de esta familia debería ser accesible. Para ese fin, hemos configurado el producto seleccionando las variantes presentadas en la Figura 84, y hemos obtenido la evaluación presentada en la Tabla 37.

1.1.1 Non text content	2.1.1 Keyboard	3.1.1 Language of Page
1.2.1 Pre-recorded audio and video	2.1.2 No keyboard trap	3.1.2 Language of Parts
1.2.2 Captions (pre-recorded)	2.1.3 Keyboard (No exception)	3.1.3 Unusual Words
1.2.3 Audio description or Media alternative	2.2.1 Timing Adjustable	3.1.4 Abbreviations
1.2.4 Captions for audios	2.2.2 Pause, stop, hide	3.1.5 Reading Level
1.2.5 Audio description for Video	2.2.3 No timing	3.2.1 On Focus
1.2.6 Sign language	2.2.4 Interruptions	3.2.2 On input
1.2.8 Media alternative	2.2.5 Re-authentication	3.2.3 Consistent Navigation
1.2.9 Audio only	2.3.1 Three Flashes or Below Threshold	3.2.4 Consistent Identification
1.3.1 Structure info and relationships	2.3.2 Three Flashes	3.3.1 Error Identification
1.3.2 Meaningful sequence	2.4.1 Bypass Blocks	3.3.2 Labels or Instructions
1.3.3 Sensory characteristics	2.4.2 Page Titled	3.3.3 Error Suggestion
1.4.1 Use of color	2.4.3 Focus Order	3.3.5 Help
1.4.2 Audio Control	2.4.4 Link Purpose (In Context)	
1.4.3 Contrast minimum	2.4.5 Multiple Ways	4.1.1 Parsing
1.4.4 Resize text	2.4.6 Headings and Labels	4.1.2 Name, Role, Value
1.4.5 Images of text	2.4.7 Focus Visible	
1.4.6 Contrast Enhanced	2.4.8 Location	
1.4.7 Low and No background audio	2.4.9 Link Purpose (Link Only)	
1.4.8 Visual Presentation	2.4.10 Section Headings	

Figura 84 Configuración mínima deseable para sitios MOOC en el OVM de accesibilidad

Tabla 37: Nivel de características de Accesibilidad deseadas para sitios MOOC

Notación en OVM de Accesibilidad	Guía / Criterio ISO 40500	Nivel de Accesibilidad	Peso % en el nivel de Accesibilidad
VP1	Perceivable		
VP1.1	Text Alternative		
V1.1.1	Non text content	A	0,84%
VP1.2	Time based media		
V1.2.1	Pre-recorded audio and video	A	0,84%
V1.2.2	Captions (pre-recorded)	A	0,84%
V1.2.3	Audio description or Media alternative	A	0,84%
V1.2.4	Captions for audios	AA	1,68%
V1.2.5	Audio description for Video	AA	1,68%
V1.2.6	Sign language	AAA	2,52%
V1.2.7	Extended audio	AAA	2,52%

V1.2.8	Media alternative	AAA	2,52%
V1.2.9	Audio only	AAA	2,52%
VP1.3	Adaptable		
V1.3.1	Info and relationships	A	0,84%
V1.3.2	Meaningful sequence	A	0,84%
V1.3.3	Sensory characteristics	A	0,84%
VP1.4	Distinguishable		
V1.4.1	Use of color	A	0,84%
V1.4.2	Audio Control	A	0,84%
V1.4.3	Contrast minimum	AA	1,68%
V1.4.4	Resize text	AA	1,68%
V1.4.5	Images of text	AA	1,68%
V1.4.6	Contrast Enhanced	AAA	2,52%
V1.4.7	Low and No background audio	AAA	2,52%
V1.4.8	Visual presentation	AAA	2,52%
VP2	Operable		
VP2.1	Keyboard Accessible		
V2.1.1	Keyboard	A	0,84%
V2.1.2	No keyboard trap	A	0,84%
V2.1.3	Keyboard (No exception)	AAA	2,52%
VP2.2	Enough Time		
V2.2.1	Timing Adjustable	A	0,84%
V2.2.2	Pause, stop, hide	A	0,84%
V2.2.3	No timing	AAA	2,52%
V2.2.4	Interruptions	AAA	2,52%
V2.2.5	Re-authentication	AAA	2,52%
VP2.3	Seizures and Physical Reactions		
V2.3.1	Three Flashes or Below Threshold	A	0,84%
V2.3.2	Three Flashes	AAA	2,52%
VP2.4	Navigable		
V2.4.1	Bypass Blocks	A	0,84%
V2.4.2	Page Titled	A	0,84%
V2.4.3	Focus Order	A	0,84%
V2.4.4	Link Purpose (In Context)	A	0,84%
V2.4.5	Multiple Ways	A	0,84%
V2.4.6	Headings and Labels	AA	1,68%
V2.4.7	Focus Visible	AA	1,68%
V2.4.8	Location	AAA	2,52%

V2.4.9	Link Purpose (Link Only)	AAA	2,52%
V2.4.10	Section Headings	AAA	2,52%
VP3	Understandable		
VP3.1	Readable		
V3.1.1	Language of Page	A	0,84%
V3.1.2	Language of Parts	AA	1,68%
V3.1.3	Unusual Words	AAA	2,52%
V3.1.4	Abbreviations	AAA	2,52%
V3.1.5	Reading Level	AAA	2,52%
VP3.2	Predictable		
V3.2.1	On Focus	A	0,84%
V3.2.2	On input	A	0,84%
V3.2.3	Consistent Navigation	AA	1,68%
V3.2.4	Consistent Identification	AA	1,68%
V3.3	Input Assistance		
V3.3.1	Error Identification	A	0,84%
V3.3.2	Labels or Instructions	A	0,84%
V3.3.3	Error Suggestion	AA	1,68%
V3.3.5	Help	AAA	2,52%
VP4	Robust		
VP4.1	Compatible		
V4.1.1	Parsing	A	0,84%
V4.1.2	Name, Role, Value	A	0,84%
TOTAL			88,24%

De igual modo, de estos modelos deseable, también es posible generar la arquitectura para responder la segunda pregunta (PI3) atendiendo a la trazabilidad establecida (ver capítulo 5 apartado 5.6 Capa de Componentes), siendo la que se muestra en la Figura 85:

Figura 85: Diagrama de componentes de la arquitectura deseada para iniciativas MOOC derivada de la SPL

Este producto se puede usar como referencia en el área, para alcanzar este valor mínimo de nivel de accesibilidad, es decir, un promedio de AA. Como resultado, puede ayudar a los ingenieros a recomendar que se incluyan las características deseadas para mejorar la accesibilidad. Por ejemplo, en nuestro caso, se recomienda mejorar el principio de percepción al incluir 22 nuevas características, tales como: contenido sin texto, audio y video pregrabados, audio y video pregrabados, etc.; 7 nuevas características para abordar el principio Operable; 10 nuevas características en el principio comprensible; y, finalmente, para abordar el principio robusto de que falta en la versión actual del producto.

6.6 Análisis de resultados

Conclusión metodología

A través de la implementación del componente de Evaluación y Mejora de Accesibilidad y usabilidad en plataformas REA de AUREA en el caso de estudio sitio OCW de la UTPL se comprobó que su aplicación permite la evaluación del nivel cuantitativo de accesibilidad y usabilidad, así como identificar los errores más frecuentes y sus posibles soluciones tanto en el aspecto cualitativo como en el cuantitativo, que al aplicarlas mejoró el nivel de accesibilidad y usabilidad del caso estudios, por lo que se puede generalizar que la aplicación de la metodología y el marco ayudan a mejorar la accesibilidad y usabilidad de las plataformas REA. Así mismo, es importante enfatizar que los resultados obtenidos son una retroalimentación importante para mejorar continuamente el marco propuesto, por lo que se mejorará y se refinará gradualmente con las evaluaciones sucesivas de los sitios de OCW.

Conclusión de la línea de producto

La conclusión para caso de aplicación del OVM de accesibilidad a un caso de estudio MOOC UTPL permitió comprobar el cumplimiento de los criterios de WCAG y tener una medida de evaluación en el caso de estudio puntualmente de la accesibilidad, ya que el modelo de calidad asociado a ellos proporciona esta información. Además, se demostró la adopción del OVM de Accesibilidad y su aplicación en la línea de producto SPL del MOOC al derivar y medir un producto específico en el MOOC de UTPL. Finalmente, es importante enfatizar que el caso de estudio también proporciona un modelo de producto con las propiedades mínimas deseables, así como un arquetipo de los componentes software a considerar en una plataforma REA, puntualmente MOOC para obtener un nivel de accesibilidad requerido. Este modelo de producto y arquetipo de referencia en términos de accesibilidad puede ser una guía para los ingenieros para alcanzar o mejorar la accesibilidad en aquellos productos para los cuales es importante esta característica por ejemplo las plataformas REA.

Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros

Este capítulo sintetiza los principales hallazgos y conclusiones obtenidas del desarrollo de la tesis doctoral por cada uno de los aportes realizados, así mismo se proporcionan algunos lineamientos del trabajo futuro que se pueden generar desde la base establecida con esta tesis doctoral.

7.1 Conclusiones

Las conclusiones del trabajo se pueden categorizar en referencia a sus aportes principales:

El mapeo sistemático de literatura de arquitecturas y líneas de producto software en plataformas REA

Esta tesis presenta el resultado de un mapeo sistemático de la literatura que ha permitido identificar los elementos arquitectónicos estilos y patrones arquitectónicos, componentes, relaciones y funcionalidades propuestos para plataformas REA en base a 54 artículos tomados de cinco de las bases de datos científicas más completas relacionadas con la ingeniería y la educación.

El mapeo sistemático realizado permite confirmar la existencia de bibliografía científica base y la utilidad del mapeo para proporcionar una visión general del dominio de investigación de arquitecturas software y líneas de producto software para REA.

Además, el mapeo sistemático complementó el análisis de los aspectos arquitectónicos y líneas de producto, con aspectos de la accesibilidad y la usabilidad a través de comparaciones entre los resultados obtenidos de los diferentes tipos de REA.

El mapeo sistemático, adicionalmente fue un paso más allá identificando una estructura básica de arquitectura en capas, con los componentes comunes y variables como base para definir una arquitectura de línea de producto software para la creación de plataformas para REA; así como definiendo un conjunto de componentes software que toda plataforma REA debe incluir (componentes comunes), y estableciendo un conjunto de componentes variables que se incluirán en una arquitectura dependiendo de las necesidades de cada plataforma.

Finalmente, en el mapeo sistemático evidencia que existe muchos trabajos futuros por hacer en esta área y establece los nichos de investigación, es decir, hacia dónde dirigir las investigaciones futuras. En particular, se observa que pocos de estos estudios proporcionan el suficiente detalle técnico y de funcionalidad orientadas a lograr el objetivo fundamental de los REA, que es incrementar el acceso al conocimiento universal a través del acceso y uso de REA. Esto hecho se presenta como un trabajo futuro a abordar, así como el hecho de proponer una línea de producto software para la creación de plataformas REA.

AUREA. Un marco de trabajo para construir y mejorar plataformas de Recursos Educativos Abiertos (OCW y MOOC) orientadas a la Accesibilidad y Usabilidad

La definición del marco de referencia AUREA para la construcción y mejora de la accesibilidad y usabilidad para plataformas REA OCW y MOOC dando un soporte a la construcción de nuevas plataformas REA sensible a la accesibilidad y usabilidad de forma asistida y guiada; y ofreciendo un marco de evaluación para plataformas ya existentes para mejorar aquellos aspectos deficitarios y mejorables en términos de accesibilidad y usabilidad.

AUREA se presenta como una solución completa que cubre tanto la construcción como el mantenimiento de plataformas REA sensibles a la accesibilidad y usabilidad, que se caracteriza por estar definido a partir de estándares relacionados con accesibilidad y usabilidad web, y teniendo en cuenta los trabajos existentes encontrados en la bibliografía, que ha permitido definir un marco formal dando un paso adelante en el área.

Marco de evaluación y mejora de plataformas REA orientadas a la accesibilidad y usabilidad

La definición del marco de referencia para la evaluación y mejora de la accesibilidad y usabilidad para plataformas REA orientado a incrementar el nivel de acceso y uso de este tipo de recursos. Este marco incluye la metodología de evaluación y el marco de mejoras, que permiten obtener una valoración cualitativa y cuantitativa del grado de accesibilidad y usabilidad de una plataforma REA existente, así como identificar sus problemas e identificar posibles soluciones a cada uno de los problemas identificados.

El marco de referencia de mejoras de accesibilidad y usabilidad plataformas REA propuesto integra los aspectos más relevantes y aplicables de la revisión de literatura y estándares como son: las guías de accesibilidad de contenido WCAG 2.0 [73], la guía de usabilidad de [65], los aspectos de usabilidad para sitios Educativos considerados en Sirius propuesto por [82]

Finalmente, es importante recalcar que este marco no es una versión definitiva, sino más un activo vivo y mejorable con los resultados que se obtienen de cada evaluación. Estos resultados sirven como retroalimentación para enriquecer y mejorar el marco de referencia propuesto, así como base de comparación para futuras evaluaciones de accesibilidad y usabilidad en otras plataformas del mismo dominio.

Definición de la línea de producto de software para la construcción de plataformas REA orientadas a la accesibilidad y usabilidad.

La definición de la línea de producto software para plataformas REA permite la construcción asistida de plataformas REA sensibles a la accesibilidad y la usabilidad. Esta línea se construye en base a modelos específicos OVM de accesibilidad y usabilidad, al OVM funcional de una línea de productos software para plataformas REA y un arquetipo de arquitectura básico para su adecuada construcción. Por lo que esta aportación de la tesis se constituye de cuatro activos software que permiten ser un primer paso adelante en esta necesidad del área.

El modelo OVM funcional de REA recoge las características esenciales para la construcción de REA tipo *Open Courseware* definidos como variantes de un modelo de

variabilidad ortogonal. Este modelo de variabilidad es un primer paso en el área y que es susceptible de ser enriquecido por otros trabajos de investigación.

Asimismo, la definición de la línea de producto ha permitido especificar el modelo OVM específico de accesibilidad basado en las guías de accesibilidad de contenido web ISO 40500, y un modelo OVM específico de usabilidad basado en un marco de evaluación denominado Sirius. De esta forma el modelo de variabilidad de la definición de la línea de producto software para plataformas REA permite garantizar el seguimiento de los estándares ISO 40500 para accesibilidad y de la norma ISO 9241 para usabilidad obteniendo una medida de su cumplimiento, ya que el modelo de calidad asociado a ellos proporciona esta información.

Finalmente, la construcción de la línea de producto, permite la construcción de la arquitectura básica de un producto REA específico, gracias a la definición de una arquitectura de línea de producto en la ingeniería del dominio. Esta arquitectura de línea de producto de plataformas REA establece las componentes y capas que conforman la arquitectura, así como su carácter común o variable a la línea. De esta forma, junto con la trazabilidad entre variantes y componentes, es posible derivar la arquitectura concreta de un producto mediante la selección de variantes durante la fase de ingeniería de la aplicación de una línea de producto software.

Modelos ortogonales de variabilidad específicos del dominio no funcional (non-functional specific OVM).

La definición de modelos de variabilidad no generalistas es una contribución de esta tesis al modelado de la variabilidad y las líneas de producto. La tesis define el concepto de modelo ortogonal de variabilidad específica de dominio, concretamente OVM específica de requisitos no funcionales. De esta forma, los OVM definen la variabilidad de estándares, normas o guías definidas por comités de estandarización para asegurarse que no se definen propiedades semánticamente incorrectas o no definidas por el estándar. Además, la tesis define mecanismos para su personalización y refinamiento para su extensión, asegurando que de esta manera preserva y cumple el estándar o norma.

Validación de AUREA

La validación de AUREA se ha realizado mediante la adopción del marco de referencia de construcción y mejora de accesibilidad y usabilidad de plataformas REA a un caso de estudio en particular. AUREA permitió obtener una valoración cuantitativa del nivel de accesibilidad y usabilidad del caso de estudio, así como una valoración cualitativa que consistió en identificar los errores más frecuentes y sus posibles soluciones.

Por otro lado, valorar la accesibilidad y usabilidad a través de la aplicación del marco AUREA a un caso de estudio, permitió comprobar que la normativa existente puntualmente los estándares son adaptables, combinables y aplicables a diferentes dominios.

La validación del OVM de Accesibilidad y su aplicación en un caso de estudio MOOC UTPL al derivar y medir un producto específico permitió comprobar su posibilidad de aplicación en un contexto real.

Finalmente, es importante enfatizar la aplicación en un caso de estudio también permitió definir un modelo de producto con las propiedades mínimas deseables para considerar un producto suficientemente accesible y usable. Este modelo de producto en términos de accesibilidad y usabilidad puede ser una guía para alcanzar estas características.

7.2 Trabajos futuros

Este trabajo abre una amplia variedad de investigaciones futuras en diferentes líneas referentes a:

Definición y aplicación del marco de mejoras de la accesibilidad y usabilidad de sistemas o plataformas REA, entre ellas:

- (i) Complementar las soluciones propuestas a los problemas detectados y que constan en el marco, estableciendo rangos de valores aceptables basados en investigación empírico y científica.
- (ii) La implementación y validación del marco con respecto al aumento real en el acceso y uso en cada uno de los tipos de plataformas REA, una vez que se hayan realizado las mejoras sugeridas del marco de mejoras de la accesibilidad y usabilidad de sistemas o plataformas REA;
- (iii) La aplicación de la metodología de evaluación de accesibilidad y usabilidad a otros sitios para obtener más insumos cualitativos y cuantitativos que retroalimenten y permitan incrementar los problemas y soluciones en el marco de mejoras;
- (iv) La creación de una herramienta de distribución gratuita que facilite a los usuarios el despliegue de la metodología y el marco,
- (v) La inclusión de características de calidad en el marco para mejorar la calidad de los sitios OCW; por lo tanto, se deben agregar otras características asociadas con la calidad de las aplicaciones de software, como Funcionalidad, Confiabilidad, Eficiencia, Mantenimiento y Portabilidad (ISO, 2000).

Arquitecturas software de la línea de producto de plataformas REA:

- (i) Refinamiento de la arquitectura a nivel de clases e implementar patrones predefinidos de accesibilidad y usabilidad.
- (ii) Generación automática del esqueleto del código de fuente de la aplicación a partir de la selección de variantes de la línea aplicando técnicas de *model-driven development* [186]

Modelado e implementación de líneas de producto software, este trabajo es el comienzo de una amplia variedad de trabajos futuros, entre ellos:

- (i) El modelado ortogonal de otros requerimientos no funcionales o atributos de calidad de software, basado en estándares internacionalmente aceptados.
- (ii) La aplicación de los OVM de accesibilidad y usabilidad definidos a otros dominios de aplicación
- (iii) La automatización del proceso de variabilidad funcional y no funcional de accesibilidad y usabilidad, para la configuración de la creación de nuevas plataformas REA.

Bibliografía

- [1] UNESCO, "Derecho a la Educación." [Online]. Available: <https://es.unesco.org/themes/derecho-a-educacion>. [Accessed: 02-May-2019].
- [2] UNESCO, "Derecho a la Educación."
- [3] la Organización de Naciones Unidas, "Agenda de desarrollo sostenible." [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>.
- [4] M. Rojas and J. Montilva, "Software architecture to integrate learning objects based on web services," *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, vol. 2, no. 18, 2011.
- [5] D. Wiley, "Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy," vol. 2830, no. 435, pp. 1–35, 2000.
- [6] Q. Li-fang, H. Luo, M. Li, and Y. Zhang, "A Study on Construction of Open Courseware of Landscape Design," in *2010 International Conference on Optics, Photonics and Energy Engineering (OPEE)*, 2010, pp. 303–305.
- [7] P. Pernías Peco and S. Luján-Mora, "Architecture of a MOOC based on CourseBuilder," in *12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 2013.
- [8] S. Chunwijitra, P. Tummarattananont, and S. Laokok, "The Strategy to Sustainable Sharing Resources Repository for Massive Open Online Courses in," in *12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2015.
- [9] G. Moltó and M. Caballer, "On Using the Cloud to Support Online Courses," in *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, 2014.
- [10] R. Jin, "Design Research on Open MOOC Platform," vol. 32, pp. 548–552, 2017.
- [11] Unesco, "OER Paris declaration," 2012.
- [12] M. Vladiu, "Toward Increased Discoverability of Open Educational Resources and Open Courseware," *Int. J. Comput. Trends Technol.*, 2013.
- [13] R. Jacobi and N. Van der Woert, "OER TREND REPORT 2012," *SURF Found.*, 2012.
- [14] R. M. Germania, S. P. Cueva Carrion, and E. Tovar Caro, "Reusable and interoperative specifications for OERs based on Standards," in *2011 IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON 2011*, 2011.
- [15] P. C. Sun, R. J. Tsai, G. Finger, Y. Y. Chen, and D. Yeh, "What drives a successful e-Learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction," *Comput. Educ.*, vol. 50, no. 4, pp. 1183–1202, 2008.
- [16] I. Lesko, "The use and production of OER & OCW in teaching in South African higher education institutions Case Study," 2013.
- [17] M. Caeiro-rodríguez, S. Member, J. M. Santos-gago, M. Lama, M. Llamas-nistal, and S. Member, "A Keyword Recommendation Experiment to Support Information Organization and Folksonomies in Edu-AREA," vol. 10, no. 2, pp. 60–68, 2015.
- [18] L. N. Atiaja and R. S. Guerrero, "MOOCs origin, characterization, principal problems and challenges in Higher Education," *J. e-Learning Knowl. Soc.*, vol. 12, pp. 65–76, 2016.
- [19] G. Rodríguez, J. Pérez, S. Cueva, and R. Torres, "A framework for improving web accessibility and usability of Open Course Ware sites," *Comput. Educ.*, vol. 109, pp. 197–215, 2017.
- [20] G. Rodríguez, J. Perez, S. Cueva, and R. Torres, "Accessibility and usability OCW data: The UTPL OCW," *Data Br.*, vol. 13, 2017.
- [21] G. Rodriguez and J. Pérez, "Towards a reference software architecture for improving the accessibility and usability of open course ware," in *ECSA '17 Proceedings of the 11th European Conference on Software Architecture:*

- Companion Proceedings*, 2017, pp. 35–38.
- [22] G. Rodriguez, P. Torres, J. Perez, and L. Peñafiel, "Improving the Design of Virtual Learning Environments from a Usability Study," *TICEC 2018 Inf. Commun. Technol. Ecuador*, vol. 884, pp. 110–115, 2018.
 - [23] A. Hevner, S. March, J. Park, and S. Ram, "Design Science in Information Systems Research," *MIS Q.*, vol. 28, no. 1, pp. 75–105, 2004.
 - [24] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic Mapping Studies in Software Engineering," in *EASE'08 Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 2008, pp. 68–77.
 - [25] C. Fernández-Sánchez, J. Garbajosa, A. Yagüe, and J. Perez, "Identification and analysis of the elements required to manage technical debt by means of a systematic mapping study," *J. Syst. Softw.*, vol. 124, pp. 22–38, 2017.
 - [26] M. Ivarsson and T. Gorschek, "A method for evaluating rigor and industrial relevance of technology evaluations," *Empir. Softw. Eng.*, vol. 16, no. 3, pp. 365–395, 2011.
 - [27] A. E. Labib, M. C. Penadés, A. Gómez, M. I. Lina, and A. Kastler, "Enforcing reuse and customization in the development of learning objects: a product line approach," in *SAC '15 Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, 2015, pp. 261–263.
 - [28] IEEE, "Learning Technology Standards Committee (LTSC)," 2019. [Online]. Available: <http://sites.ieee.org/sagroups-ltsc/home/>.
 - [29] IEEE LTSC, "Learning Object Metadata standard."
 - [30] R. McGreal, "Learning Objects: A Practical Definition," 2004. .
 - [31] P. Khanna and P. C. Basak, "An OER Architecture Framework: Needs and Design s (SNA) in OnlineCourses," *Int. Rev. Res. Open Distrib. Learn.*, vol. 14, no. 1, pp. 66–83, 2013.
 - [32] S. Cueva and G. Rodríguez, "OERs, standards and trends | OER, estándares y tendencias," *Rev. Univ. y Soc. del Conoc.*, vol. 7, no. 1, 2010.
 - [33] A. F. Camilleri, D. U. Ehlers, and J. Pawlowski, "State of the Art Review of Quality Issues related to Open Educational Resources (OER) Nutzungsbedingungen Terms of use," *Luxemb. Publ. Off. Eur. Union 2014*, 52 S. - (JRC Sci. Policy Reports), 2014.
 - [34] J. Hylén, "Open Educational Resources: Opportunities and Challenges," in *Proceedings Open Education Conference (OpenEd 2006)*, 2006.
 - [35] The William and Flora Hewlett Foundation, "The William and Flora Hewlett Foundation." [Online]. Available: <https://hewlett.org/>.
 - [36] OECD, *Giving knowledge for free: The emergence of open educational resources*, vol. 9789264032. 2007.
 - [37] R. J. R. Muslera, M.-Á. Sicilia, J. J. Cuadrado-Gallego, C. López, and A. Leal, "Universal Education through Open Educational Resources (OER): technical, socioeconomics and legal aspects Educación Universal a través de los Recursos Educativos Abiertos (REA): Aspectos técnicos, socioeconómicos y legales."
 - [38] MIT, "MITOpenCourseWare," 2002. [Online]. Available: <https://ocw.mit.edu/index.htm>.
 - [39] "China Open Resources for Education (CORE)." [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20130921210428/http://www.core.org.cn/>.
 - [40] "Japanese OCW Consortium." [Online]. Available: <http://jocw.jp/jp/>.
 - [41] ParisTech, "ParisTech OCW project." [Online]. Available: <https://www.paristech.org/?langue=EN>.
 - [42] T. O. University, "OpenLearn." [Online]. Available: <https://www.open.edu/openlearn/>.
 - [43] O. E. Consortium, "What is Open Courseware?," 2019. [Online]. Available:

- <https://www.oeconsortium.org/faq/what-is-open-courseware/>.
- [44] C. Pahl and R. Barrett, "A Web Services Architecture for Learning Object Discovery and Assembly," in *13th international World Wide Web conference on Alternate track papers & posters*, 2004, pp. 446–447.
 - [45] S. Uvalić-Trumbić, S. J. Daniel, P. Problems, and C. I. N. Higher, "Making sense of MOOCs: The evolution of online learning in higher education," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 8095 LNCS, pp. 1–4, 2013.
 - [46] G. Siemens, "Massive Open Online Courses: Innovation in Education?," *Open Educ. Resour. Innov. Res. Pract.*, vol. 1833, pp. 207–222, 2013.
 - [47] A. Ng and J. Widom, "Origins of the modern MOOC (xMOOC)," *Hrsg. Fiona M. Hollands, Devayani Tirthali MOOCs Expect. Real. Full Rep.*, pp. 34–47, 2014.
 - [48] Udacity, "UDACITY," 2019. .
 - [49] Courseware, "Coursera." [Online]. Available: <https://es.coursera.org/>.
 - [50] Edx, "Edx." [Online]. Available: <https://www.edx.org/es>. [Accessed: 04-Jul-2019].
 - [51] T. R. Liyanagunawardena, A. A. Adams, and S. A. Williams, "MOOCs: A systematic study of the published literature 2008-2012 | Liyanagunawardena |," *Int. Rev. Res. Open Distance Learn.*, 2008.
 - [52] A. McAuley, B. Stewart, G. Siemens, and D. Cormier, "The MOOC model for digital practice," *Massive Open Online Courses Digit. ways knowing Learn.*, pp. 1–64, 2010.
 - [53] R. McGreal, W. Kinuthia, and S. Marshall, "Open Educational Resources: Innovation, Research and Practice," *Commonw. Learn. Athabasca Univ.*, 2013.
 - [54] M. Rohs and M. Ganz, "MOOCs and the Claim of Education for All : A Disillusion by Empirical Data," vol. 16, no. 6, pp. 1–19, 2015.
 - [55] L. Yuan and S. Powell, "MOOCs and Open Education," *MOOCs Open Educ. Around World*, pp. 1–29, 2018.
 - [56] R. Schuwer, M. van Genuchten, and L. Hatton, "On the Impact of Being Open," *IEEE Softw.*, vol. 32, no. 5, pp. 81–83, 2015.
 - [57] C. Cherkaoui, A. Qazdar, A. Battou, A. Mezouary, A. Bakki, and D. Mamass, "A Model of Adaptation in Online Learning Environments (LMSs and MOOCs)," in *10th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)*, 2015.
 - [58] "Moodle." [Online]. Available: <https://moodle.org/?lang=es>.
 - [59] "Canvas."
 - [60] D. Clow, "MOOCs and the funnel of participation," *Proc. Third Int. Conf. Learn. Anal. Knowl. - LAK '13*, p. 185, 2013.
 - [61] D. E. Atkins, J. S. Brown, and A. L. Hammond, "A Review of the Open Educational Resources (OER) Movement: Achievements, Challenges, and New Opportunities," 2007.
 - [62] D. D. Rustam and T. Van der Weide, "The knowledge market online learning (K-MALL) Architecture for Higher Education," in *International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)*, 2016, no. Didi, pp. 135–140.
 - [63] J. Cruz-Benito, O. Borrás-Gené, F. J. García-Peñalvo, and R. Therón, "Extending MOOC ecosystems using web services and software architectures," in *XVI International Conference on Human Computer Interaction*, 2015.
 - [64] ISO, "ISO 9241-11:2018(en)," vol. 2018, p. 9241, 2018.
 - [65] ISO, "ISO 9241-171:2008(en) Ergonomics of human-system interaction - Part 171: Guidance on software accessibility," 2008. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-171:ed-1:v1:en>.
 - [66] ISO, "ISO/IEC 25010:2011(en) Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software

- quality models,” 2011. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:25010:ed-1:v1:en>.
- [67] W3C, “Web Accessible Initiative.” [Online]. Available: <https://www.w3.org/WAI/>.
 - [68] W3C, “World Wide Web Consortium.” .
 - [69] W3C, “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1,” 2018. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>. [Accessed: 12-Mar-2019].
 - [70] W3C, “Authoring Tool Accessibility Guidelines (ATAG) 2.0,” 2015. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>.
 - [71] W3C, “User Agent Accessibility Guidelines (UAAG) 2.0,” 2015. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/UAAG20/>.
 - [72] G. Brajnik, “A comparative test of web accessibility evaluation methods,” p. 113, 2008.
 - [73] W3C, “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0,” 2008. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>.
 - [74] ISO, “ISO/IEC 40500:2012(en) Information technology - W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0,” 2012. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:40500:ed-1:v1:en>.
 - [75] W3C, “Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM) 1.0,” 2014. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG-EM/>.
 - [76] W3C, “Web Accessibility Evaluation Tools List,” 2019. .
 - [77] J. R. Hilera, L. Fernández, E. Suárez, and E. T. Vilar, “Evaluación de la accesibilidad de páginas web de universidades españolas y extranjeras incluidas en rankings universitarios internacionales ; Accessibility assessment of web pages of Spanish and foreign universities included in international rankings,” *Rev. Española Doc. Científica*, vol. 36, no. 1, pp. 1–16, 2013.
 - [78] CTIC, “Test de Accesibilidad Web (TAW).” [Online]. Available: <https://www.tawdis.net/#>.
 - [79] R. Agarwal and V. Venkatesh, “Assessing a Firm’s Web Presence: A Heuristic Evaluation Procedure for the Measurement of Usability,” *Inf. Syst. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 168–186, 2002.
 - [80] A. Seffah, M. Donyaee, R. B. Kline, and H. K. Padda, “Usability measurement and metrics: A consolidated model,” *Softw. Qual. J.*, vol. 14, no. 2, pp. 159–178, 2006.
 - [81] M. C. Suarez, A. B. Martínez, D. A. Alvarez, and M. E. Alva, “Sirius: A heuristic-based framework for measuring web usability adapted to the type of website,” *J. Syst. Softw.*, vol. 86, no. 3, pp. 649–663, 2013.
 - [82] M. C. Suarez, A. B. Martínez, D. A. Alvarez, and M. E. Alva, “Sirius: A heuristic-based framework for measuring web usability adapted to the type of website,” *J. Syst. Softw.*, vol. 86, no. 3, pp. 649–663, 2013.
 - [83] L. Bass, P. Clements, and R. Kazman, *Software Architecture in practice*. Addison-Wesley, 1998.
 - [84] D. Garlan and M. Shaw, “An Introduction to Software Architecture,” *Adv. Softw. Eng. Knowl. Eng.*, no. January, 1994.
 - [85] International Standard Organization, “ISO-IEC-IEEE:42010,” 2011. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec-ieee:42010:ed-1:v1:en>.
 - [86] R. N. Taylor, N. Medvidovic, and E. Dashofy, *Software architecture: foundations, theory and practice*. Wiley, 2009.
 - [87] F. Buschmann, R. Meunier, H. Rohnert, P. Sommerlad, and M. Stal, *Pattern – Oriented Software Architecture. A System of Patterns*. Inglaterra: John Wiley & Sons, 1996.
 - [88] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, *Design patterns: elements of reusable object-oriented languages and systems*. Addison-Wesley Reading Series, 1994.
 - [89] J. Díaz, J. Pérez, and J. Garbajosa, “Agile product-line architecting in practice : A

- case study in smart grids,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 56, no. 7, pp. 727–748, 2014.
- [90] K. Pohl, G. Böckle, and F. J. van der Linden, *Software Product Line Engineering Foundations, Principles and Techniques*. Springer, 2005.
 - [91] P. Clements and L. Northrop, *Software Product Lines: Practices and Patterns*. Addison-Wesley, 2002.
 - [92] K. Pohl, G. Böckle, and F. J. van der Linden, *Software Product Line Engineering Foundations, Principles and Techniques*. Springer, 2005.
 - [93] I. Sommerville, *Software Engineering*. Pearson Education, 2016.
 - [94] ISO/IEC/IEEE 29148, “International Standard, Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering,” 2011.
 - [95] ISO 25010, “International Standard, Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models.”
 - [96] G. Chastek, P. Donohoe, K. C. Kang, and S. Thiel, “Product Line Analysis: A Practical Introduction,” 2001.
 - [97] F. Roos-Frantz, D. Benavides, A. Ruiz-Cortés, A. Heuer, and K. Lauenroth, “Quality-aware analysis in product line engineering with the orthogonal variability model,” *Softw. Qual. J.*, vol. 20, no. 3–4, pp. 519–565, 2011.
 - [98] A. Metzger and K. Pohl, “Variability management in software product line engineering,” *Proc. Int. Conf. Softw. Eng.*, vol. 2007, pp. 1049–1050, 2007.
 - [99] F. Roos-Frantz, “A Preliminary Comparison of Formal Properties on Orthogonal Variability Model and Feature Model,” *Third Int. Work. Var. Model. Software-intensive Syst.*, no. July, pp. 121–126, 2009.
 - [100] A. Durán, D. Benavides, S. Segura, P. Trinidad, and A. Ruiz-Cortés, *FLAME: a formal framework for the automated analysis of software product lines validated by automated specification testing*, vol. 16, no. 4, 2017.
 - [101] K. Pohl and A. Metzger, “Variability management in software product line engineering,” *Proc. Int. Conf. Softw. Eng.*, vol. 2007, pp. 186–187, 2007.
 - [102] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, “Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 64, pp. 1–18, 2015.
 - [103] N. Condori-Fernandez, M. Daneva, K. Sikkil, R. Wieringa, O. Dieste, and O. Pastor, “A systematic mapping study on empirical evaluation of software requirements specifications techniques,” in *Third International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, ESEM 2009*, 2009, no. 1, pp. 502–505.
 - [104] S. Jalali and C. Wohlin, “Agile Practices in Global Software Engineering: Snowballing Search Method,” in *5th IEEE International Conference on Global Software Engineering*, 2010.
 - [105] E. Barreiros, A. Almeida, J. Saraiva, and S. Soares, “A Systematic Mapping Study on Software Engineering Testbeds,” in *International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, 2011, pp. 107–116.
 - [106] M. M. Qadir and M. Usman, “Software engineering curriculum: A systematic mapping study,” *2011 5th Malaysian Conf. Softw. Eng. MySEC 2011*, pp. 269–274, 2011.
 - [107] B. Kitchenham, D. Budgen, and O. P. Brereton, “The value of mapping studies - a participant-observer case study,” in *Evaluation and Assessment of Software Engineering EASE*, 2010, vol. 2, no. 1, pp. 1–9.
 - [108] R. Wieringa, N. Maiden, N. Mead, and C. Rolland, “Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion,” *Requir. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 102–107, 2006.
 - [109] B. Kitchenham and S. Charters, “Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering,” 2007.

- [110] T. Dyba, T. Dingsoyr, and G. Hanssen, "Applying Systematic Reviews to Diverse Study Types: An Experience Report," in *First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, ESEM 2007*, 2007, no. 7465, pp. 126–135.
- [111] E. Engström and P. Runeson, "Software product line testing - A systematic mapping study," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 2–13, 2011.
- [112] L. Anido, M. Caeiro, J. Rodríguez, and J. M. Santos, "Architecting CORBA-based Frameworks to Support Distributed and Interoperable Training Systems in Large Enterprises," in *11th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*, 2002.
- [113] B. D. Valenzuela *et al.*, "Educational Resources as Learning Web Services , an Alternative Point of View to Learning Objects .," *Lat. Am. Trans.*, vol. 15, no. 4, pp. 711–719, 2017.
- [114] G. A. Lewis, "Service-Oriented Architecture and its Implications for Software Life Cycle Activities," *Softw. Eng. Inst. Integr. Software-Intensive Syst. Initiat.*, 2008.
- [115] C. Severance, "Roy T. Fielding: Understanding the REST Style," *The IEEE Computer Society*, 2015.
- [116] C. Richardson and F. Smith, "Microservices - From Design to Deployment," *Nginx*, 2016.
- [117] M. Kellar, H. Stern, C. Watters, M. Shepherd, and C. Bh, "An Information Architecture to Support Dynamic Composition of Interactive Lessons and Reuse of Learning Objects," in *37th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2004, vol. 00, no. C, pp. 1–10.
- [118] L. Favario and E. Masala, "A New Architecture for Cross-Repository Creation and Sharing of Educational Resources," in *International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)*, 2016, vol. 12, no. 2, pp. 185–209.
- [119] H. Hajri, Y. Bourda, and F. Popineau, "MORS: A System for Recommending OERs in a MOOC," *Proc. - IEEE 17th Int. Conf. Adv. Learn. Technol. ICALT 2017*, pp. 50–52, 2017.
- [120] W. Lai and X. Huang, "An Efficient Approach for Building Web-based Courseware," in *First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education*, 2007, pp. 260–263.
- [121] N. Piedra, J. Chicaiza, J. López, E. Tovar, and O. Martinez, "Finding OERs with social-semantic search," *2011 IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON 2011*, pp. 1195–1200, 2011.
- [122] M. Vladioiu, Z. Constantinescu, and G. Moise, "QORECT – A Case-Based Framework for Quality-Based Recommending Open Courseware and Open Educational Resources," in *International Conference on Computational Collective Intelligence*, 2013, no. 2, pp. 681–690.
- [123] Y. Ding, T. Cheng, P. Feng, and G. Xu, "A Distributed Operation Architecture of MOOCs for Open Experiments," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 631–632, pp. 1089–1095, 2014.
- [124] E. Rajabi, M.-A. Sicilia, and S. Sanchez-Alonso, "Interlinking Educational Resources to Web of Data through IEEE LOM," *Comput. Sci. Inf. Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 233–255, 2015.
- [125] R. Pérez-Rodríguez, L. Anido-Rifón, M. Gómez-Carballa, and M. Mouriño-García, "Architecture of a concept-based information retrieval system for educational resources," *Sci. Comput. Program.*, vol. 129, pp. 72–91, 2016.
- [126] V. Vasiliev, F. K. B. D. Mouromtsev, S. Stafeyev, and O. Parkhimovich, "ECOLE : An Ontology-Based Open Online Course Platform," in *Open Data for Education*, 2016, pp. 41–66.
- [127] L. Technology and S. Committee, *IEEE Standards IEEE Standard for Learning*,

no. December. 2003.

- [128] T. Robal and A. Kalja, "Creating Interactive Learning Objects with Web Services," in *EAEIE Annual Conference*, 2009.
- [129] D. E. L. Fonseca, "EduCamp colombia: Social networked learning for teacher training," *Int. Rev. Res. Open Distance Learn.*, p. th, 2011.
- [130] P. P. Peco and S. Luján-Mora, "Architecture of a MOOC based on CourseBuilder," *2013 12th Int. Conf. Inf. Technol. Based High. Educ. Training, ITHET 2013*, 2013.
- [131] N. Piedra, J. A. Chicaiza, J. López, and E. Tovar, "An Architecture based on Linked Data technologies for the Integration and reuse of OER in MOOCs Context," *Open Prax.*, vol. 6, no. 2, pp. 171–187, 2014.
- [132] J. Zhuo and X. Jiang, "The Design Of Mobile Technology Systems Architecture For MOOC," in *11th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 2014, no. 2013, pp. 0–3.
- [133] N. Piedra, "Seeking Open Educational Resources to Compose Massive Open Online Courses in Engineering Education An Approach Based on Linked Open Data," vol. 21, no. 5, pp. 679–711, 2015.
- [134] G. Rodríguez, J. Pérez, S. Cueva, and R. Torres, "A framework for improving web accessibility and usability of Open Course Ware sites," *Comput. Educ.*, vol. 109, 2017.
- [135] K. Nakabayashi and Morimoto Yosuke, "On Generic Communication Patterns between Courseware Objects in Extensible Learning Support System Architecture for Self- and Group Learning," in *15th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 2015, pp. 2–3.
- [136] R. Navarrete and S. Luján-Mora, "Evaluating findability of Open Educational Resources from the perspective of users with disabilities: A preliminary approach," in *Second International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)*, 2015, pp. 112–119.
- [137] R. Navarrete and S. Luján-Mora, "Improving OER Websites for Learners with Disabilities," in *13th International Web for All Conference W4A'16*, 2016.
- [138] V. Bremgartner, "Conceptual Framework of Educational Resources Adaptation for Improve Collaborative Learning in Virtual Learning Environments," in *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2017.
- [139] K. Villalba, C. Deco, and F. García-Peñalvo, "A Recommender System of Open Educational Resources based on the Purpose of Learning," in *Twelfth Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)*, 2017.
- [140] F. Jurado, M. A. Redondo, and D. I. Informática, "Learning tools interoperability for enhancing a distributed personal learning environment with support for programming assignments," in *International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, 2014, pp. 87–92.
- [141] Edx, "Open edX Architecture," *Open Edx Developer's Guide*, 2018. .
- [142] H. Q. Yu *et al.*, "A Linked Data-driven & Service-oriented Architecture for Sharing Educational Resources," in *Conference: 8th Extended Semantic Web Conference - Linked Learning 2011: Proceedings of the ESWC2011*, 2011.
- [143] S. Dietze, H. Q. Yu, D. Giordano, E. Kaldoudi, N. Dovrolis, and D. Taibi, "Linked Education: interlinking educational Resources and the Web of Data," 2012.
- [144] N. Sonwalkar, "The First Adaptive MOOC: A Case Study on Pedagogy Framework and Scalable Cloud Architecture—Part I," in *MOOCs FORUM*, 2013, pp. 22–29.
- [145] G. Sun, T. Cui, G. Beydoun, J. Shen, and S. Chen, "Profiling and Supporting Adaptive Micro Learning on Open Education Resources," in *International Conference on Advanced Cloud and Big Data (CBD)*, 2016, pp. 158–163.
- [146] L. Vigentini, A. Clayphan, and M. Chitsaz, "Dynamic dashboard for educators and students in FutureLearn MOOCs: Experiences and insights," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1967, no. March 2017, pp. 20–35, 2017.

- [147] B. Wright and S. Sukittanon, "User-Driven Mobile Authoring System," in *SOUTHEASTCON 2014, IEEE*, 2014.
- [148] C. Alario-Hoyos, I. Estévez-Ayres, M. Pérez Sanagustín, D. Leony, and C. Delgado Kloos, "MyLearningMentor: A Mobile App to Support Learners Participating in MOOCs," *J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 21, no. 5, pp. 735–753, 2015.
- [149] R. Hernández, C. Gütl, and H. R. Amado-salvatierra, "Cloud Learning Activities Orchestration for MOOC," in *Third International Workshop, LTEC 2014*, 2014, pp. 25–36.
- [150] L. Zhuhadar, S. R. Kruk, and J. Daday, "Semantically enriched Massive Open Online Courses (MOOCs) platform," *Comput. Human Behav.*, vol. 51, pp. 578–593, 2015.
- [151] S. F. Ochoa, E. G. Ormeño, and J. A. Pino, "Reusing courseware components," *Proc. 14th Int. Conf. Softw. Eng. Knowl. Eng. - SEKE '02*, p. 549, 2002.
- [152] R. Cook, J. Kay, and B. Kummerfeld, "MOOCIm : User Modelling for MOOCs," in *International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization*, 2015, pp. 80–91.
- [153] N. Piedra, J. Chicaiza, J. López, E. Tovar, and O. Martinez-Bonastre, "Combining Linked Data and mobiles devices to improve access to OCW," in *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, 2012.
- [154] B. Songbin and Meng Fanqi, "The Design of Massive Open Online Course Platform for English Translation Learning based on Moodle," in *Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 2015, pp. 1365–1368.
- [155] I. Buchem, A. Merceron, and J. Kreutel, "Wearable Enhanced Learning for Healthy Ageing : Conceptual Framework and Architecture of the ' Fitness MOOC ,' " *Interact. Des. Archit. J.*, pp. 111–124, 2015.
- [156] N. Selviandro and G. Septiana, "Context-Aware Ubiquitous Learning on the Cloud-Based Open Learning Environment : Towards Indonesia Open Educational Resources (I-OER)," vol. 4, no. c, 2016.
- [157] A. Longo and M. Zappatore, "A Microservice-Based MOOL in Acoustics Addressing the Learning-at-Scale Scenario," *Proc. - Int. Comput. Softw. Appl. Conf.*, vol. 1, pp. 391–400, 2017.
- [158] ETSI, CEN, and CENELEC, "Accessibility requirements suitable for public procurement of ICT products and services in Europe," 2015. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/01.01.02_60/en_301549v010102p.pdf.
- [159] L. Carvajal, A. M. Moreno, M. I. Sánchez-Segura, and A. Seffah, "Usability through software design," *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 39, no. 11, pp. 1582–1596, 2013.
- [160] R. Stake, *The art of case study research*. London, 1995.
- [161] D. Benavides, P. Trinidad, and A. Ruiz-Cortés, "Automated Reasoning on Feature Models," *Semin. Contrib. to Inf. Syst. Eng.*, vol. 01, pp. 361–373, 2005.
- [162] K. . . Kang, S. G. Cohen, J. A. Hess, W. E. Novak, and A. S. Peterson, "Feature-Oriented Domain Analysis (FODA)," 1990.
- [163] K. C. Kang, S. Kim, J. Lee, K. Kijoo, E. Shin, and M. Huh, "FORM: A feature-oriented reuse method with domain-specific reference architectures," in *Annals of Software Engineering*, 1998.
- [164] K. Czarnecki and U. Eisenecker, *Generative Programming: Methods, Tools, and Applications*. Addison-Wesley Professional, 2000.
- [165] D. Streitferdt, M. Riebisch, and I. Philippow., "Details of Formalized Relations in Feature Models Using OCL Detlef Streitferdt," in *Proceedings of 10th IEEE International Conference on Engineering of Computer-Based Systems (ECBS 2003)*, 2003, pp. 45–54.

- [166] G. Zhang, H. Ye, and Y. Lin, "Quality attribute modeling and quality aware product configuration in software product lines," *Softw. Qual. J.*, vol. 22, no. 3, pp. 365–401, 2014.
- [167] S. Montagud and S. Abrahão, "Gathering current knowledge about quality evaluation in software product lines," in *Proceedings of the 13th International Software Product Line Conference*, 2009.
- [168] J. Chavarriaga, C. Rangel, C. Noguera, R. Casallas, and V. Jonckers, "Using multiple feature models to specify configuration options for electrical transformers," pp. 216–224, 2015.
- [169] J. Chavarriaga, R. Casallas, and V. Jonckers, "Implementing Operations to Combine Feature Models: The Conditional Intersection Case," *Proc. - 2017 IEEE/ACM 2nd Int. Work. Var. Complex. Softw. Des. VACE 2017*, pp. 41–47, 2017.
- [170] Q. L. Nguyen, "Non-functional requirements analysis modeling for software product lines BT - 2009 ICSE Workshop on Modeling in Software Engineering, MiSE 2009, May 16, 2009 - May 24, 2009," pp. 56–61, 2009.
- [171] J. A. Street and H. Gomaa, "An Approach to Performance Modeling of Software Product Lines," in *Workshop on Modeling and Analysis of Real-Time and Embedded Systems*, 2006.
- [172] J. González-Huerta, E. Insfran, S. Abrahão, and J. D. McGregor, "Non-functional requirements in model-driven software product line engineering," no. December, pp. 1–6, 2012.
- [173] F. Roos-Frantz, J. A. Galindo, D. Benavides, and A. R. Cortés, "FaMa-OVM: a tool for the automated analysis of OVMs," *16th Int. Softw. Prod. Line Conf. {SPLC} '12, Salvador. Brazil - Sept. 2-7, 2012, Vol. 2*, pp. 250–254, 2012.
- [174] W. M. Taha, "Domain-Specific Languages," in *IFIP TC 2 Working Conference, DSL*, 2009.
- [175] G. Rodríguez, S. Cueva, and A. Romero, "OERs Standards, specifications proposed Visibility and Usability."
- [176] G. Rodríguez, S. Cueva, M. Sucunuta, and O. Marban, "Framework for assessing the quality of sites Open Course Ware (OCW) by quality attributes," in *2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2015, pp. 1–7.
- [177] ISO, "International Organization for Standardization." .
- [178] IEC, "International Electrotechnical Commission." .
- [179] R. C. H. Iteutu, *Microsoft Application Architecture Guide*. 2009.
- [180] T. Erl, *Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology and Design*, Prentice H. 2005.
- [181] R. Yin, *Case Study Research: Design and Methods*. London, 1994.
- [182] P. Runeson and M. Höst, "Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering," *Empir. Softw. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 131–164, 2009.
- [183] A. Allueva, "Gestor de Contenidos. Universidad de Zaragoza.," 2012. [Online]. Available: http://add.unizar.es/add/area/index.php?option=com_content&view=article&id=31:gestor-de-contenidos&catid=29:info-unizar&Itemid=25. [Accessed: 09-Dec-2014].
- [184] M. Triola, *Elementary Statistics*, 11th ed. Pearson Education., 2009.
- [185] UTPL, "UTPL MOOC," 2019. [Online]. Available: <https://mooc.utpl.edu.ec/>.
- [186] S. Kelly and J.-P. Tolvanen, *Domain-Specific Modeling: Enabling Full Code Generation*. 2008.

ANEXOS

Anexo A: Metodologías de investigación utilizadas

1. Diseño de Ciencia

El Diseño de ciencia es un método de investigación iterativo basado en el paradigma de resolución de problemas que incluye el diseño, creación y validación de artefactos para resolver un problema identificado.

El Diseño de ciencia es tanto un proceso como un producto. Un proceso que define una secuencia de actividades para obtener un producto artefacto. El conocimiento y la comprensión de un dominio del problema y su solución se logran en la construcción y aplicación del artefacto diseñado.

La ciencia del diseño, crea y evalúa los artefactos de TI destinados a resolver los problemas organizativos identificados. Dichos artefactos están representados en una forma estructurada que puede variar desde software, lógica formal y matemáticas rigurosas hasta descripciones de lenguaje natural informal.

El objetivo de la investigación en el diseño de ciencia es la utilidad o aplicabilidad. Desde la posición que la verdad y la utilidad son inseparables. La verdad informa al diseño y la utilidad a la teoría. Un artefacto puede tener utilidad debido a una verdad aún no descubierta. Es posible que una teoría aún no se haya desarrollado hasta el punto en que su verdad pueda incorporarse en el diseño. En ambos casos, la evaluación de la investigación a través de las actividades de justificación / evaluación puede dar como resultado la identificación de puntos débiles en la teoría o el artefacto y la necesidad de refinar y reevaluar. El proceso de refinamiento y reevaluación suele describirse en futuras instrucciones de investigación.

La base de conocimiento proporciona las materias primas a través de las cuales se realiza la investigación en SI. La base de conocimientos está compuesta por fundamentos y metodologías. Las investigaciones y los resultados previos de SI de las disciplinas de referencia proporcionan teorías, marcos, instrumentos, construcciones, modelos, métodos e instancias fundamentales utilizados en la fase de desarrollo / construcción de un estudio de investigación. Las metodologías proporcionan pautas utilizadas en la fase de justificación / evaluación. El rigor se logra aplicando adecuadamente las fundaciones existentes y metodologías. En la ciencia del comportamiento, las metodologías suelen estar enraizadas en la recopilación de datos y en las técnicas de análisis empírico. En la ciencia del diseño, los métodos computacionales y matemáticos se utilizan principalmente para evaluar la calidad y efectividad de los artefactos; Sin embargo, **también se pueden emplear técnicas empíricas.**

La Tabla 38 muestra y describe las guías de investigación para el diseño de la ciencia

Tabla 38: Diseño de la ciencia guías de investigación

Guía	Descripción
Guía 1: Diseño como un Artefacto.	El diseño de la ciencia debería producir un artefacto viable en forma de un constructor, un modelo, un método o una instanciación.
Guía 2: Relevancia del problema.	El objetivo de la investigación diseño de la ciencia es para resolver problemas del negocio.
Guía 3: Evaluación del diseño.	La utilidad, calidad y eficacia de diseño de un artefacto debe ser riguroso demostrado vía evaluación bien ejecutado.
Guía 4: Contribución de la investigación.	La efectividad de la investigación del diseño de la ciencia debe proveer contribuciones claras y verificables en las áreas del diseño de artefactos, fundamentos y/o metodologías de diseño.
Guía 5: Rigor de la investigación.	El diseño de la ciencia se basa en la aplicación de métodos rigurosos tanto en la construcción como en la evaluación del artefacto de diseño.
Guía 6: Diseño como un proceso de investigación.	La búsqueda de un artefacto efectivo requiere la utilización de los medios disponibles para alcanzar los fines deseados mientras se cumplen las leyes en el entorno problemático.
Guía 7: Comunicación de la investigación	La investigación en el diseño de la ciencia, debe presentarse de manera efectiva tanto a las audiencias orientadas a la tecnología como a las orientadas a la gestión.

El diseño es tanto un proceso como un producto:

- El proceso de diseño es una secuencia de actividades de expertos que produce un producto innovador (es decir, el diseño artefacto)
- La evaluación del artefacto luego proporciona retroalimentación:
 - Mejor comprensión del problema.
 - Mejorar tanto la calidad del producto como el proceso de diseño.

2. Métodos Empíricos en Ingeniería de Software

Los métodos empíricos son cruciales, ya que permiten considerar aspectos de comportamiento humano en el enfoque de investigación adoptado a las áreas de investigación (Wohlin, 2003), en este caso ingeniería de software. La motivación principal para el uso de métodos empíricos en ingeniería de software es que se necesita incorporar aspectos organizacionales, de proyectos, recursos humanos, entre otros para permitir la toma de decisiones bien fundamentada. Entre los métodos de investigación empíricos aplicables a Ingeniería del Software se encuentran: experimentos controlados, estudios de casos, encuestas y análisis post mortem. Los cuatro métodos tienen en común que todos están relacionados con los datos cuantitativos. Sin embargo, varios de ellos también son adecuados para datos cualitativos, es decir métodos mixtos que se pueden complementar y al usarse juntos permiten incorporar más fuentes de información.

Es necesario utilizar métodos empíricos para ayudarnos a evaluar y validar los resultados de la investigación y comprobar qué es mejor utilizar según cada contexto. Por lo tanto, los métodos empíricos proporcionan una base científica importante para la ingeniería web y de software, la razón principal es que la Web y el desarrollo de software son intensivos en humanos.

Hay dos tipos principales de paradigmas de investigación que tienen diferentes enfoques para los estudios empíricos. La *investigación cualitativa* se ocupa del estudio de los objetos en su entorno natural. En la investigación cualitativa se intenta interpretar un fenómeno basado en las explicaciones que la gente les brinda [3]. La investigación cualitativa comienza con la aceptación de que hay una variedad de formas diferentes de interpretación. Se preocupa por descubrir las causas observadas por los sujetos en el estudio y por comprender su visión del problema en cuestión. El sujeto es la persona que participa en un estudio para evaluar un objeto. La investigación cuantitativa se ocupa principalmente de cuantificar una relación o de comparar dos o más grupos [4]. El objetivo es identificar una relación causa-efecto. La investigación cuantitativa a menudo se lleva a cabo mediante el establecimiento de experimentos controlados o la recopilación de datos a través de estudios de casos. Las investigaciones cuantitativas son apropiadas cuando se prueba el efecto de alguna manipulación o actividad. Una ventaja es que los datos cuantitativos promueven las comparaciones y el análisis estadístico. El uso de métodos de investigación cuantitativos depende de la aplicación de la medición, que se discute con más detalle en [5]. Es posible que la investigación cualitativa y cuantitativa investigue los mismos temas, pero cada uno de ellos abordará un tipo diferente de pregunta.

En general, cualquier estudio empírico se pueden identificar los siguientes pasos de investigación: Definición, Planificación, Operación, Análisis e interpretación, Conclusiones y Presentación y empaquetado. El trabajo dentro de los pasos difiere considerablemente según el tipo de estudio empírico. Sin embargo, en lugar de intentar presentar cuatro métodos de investigación diferentes de acuerdo con este proceso general, hemos elegido resaltar los principales aspectos de interés para los diferentes tipos de estudios.

Dependiendo del propósito de la evaluación, ya sean técnicas, métodos o herramientas, y dependiendo de las condiciones para la investigación empírica, se identifican cuatro tipos diferentes de investigaciones (estrategias) principales: Experimento, Caso de estudio, Encuesta, Análisis post mortem. Cada una de ellas tiene características propias que se describen brevemente a continuación:

- Un experimento es una investigación formal, rigurosa y controlada. En un experimento los factores clave son identificados y manipulados. La separación entre estudios de caso y experimentos puede representarse por la noción de una variable de estado [13]. En un experimento, la variable de estado puede asumir valores diferentes y el objetivo normalmente es distinguir entre dos situaciones, por ejemplo, una situación de control y la situación bajo investigación. Los ejemplos de una variable de estado podrían ser, por ejemplo, el método de inspección o la experiencia de los desarrolladores web. En un estudio de caso, la variable de estado solo asume un valor, gobernado por el proyecto real en estudio.
- La investigación de los estudios de casos es una técnica en la que se identifican los factores clave que pueden afectar el resultado y luego se documenta la actividad [12,14]. La investigación de estudios de caso es un método de observación, es decir, se realiza mediante la observación de un proyecto o actividad en curso.

- Las encuestas son muy comunes dentro de las ciencias sociales donde, por ejemplo, se encuestan las actitudes para determinar cómo votará una población en la próxima elección. Una encuesta no proporciona control de la ejecución o medición, aunque es posible compararla con otras similares, pero no es posible manipular variables como en los otros métodos de investigación [15].
- Finalmente, un análisis post mortem puede verse como propiedades hereditarias, de encuestas y estudios de casos. Una autopsia puede contener elementos de una encuesta, pero generalmente es un caso. Este último podría ser un proyecto web completo o una actividad específica.

Para los cuatro métodos, es importante considerar la población de interesados, es decir, la población que se debe encontrar una muestra. La muestra debe ser elegida al azar de la población. La muestra consta de varios temas, por ejemplo, en muchos casos, personas que participan en un estudio. La población real puede variar desde la ambición de tener una población general, como suele ser el objetivo en los experimentos en los que nos gustaría generalizar los resultados, a una visión más estrecha, que puede ser el caso en los análisis y estudios post mortem de los casos.

Algunas de las estrategias de investigación podrían clasificarse como cualitativas y cuantitativas, de acuerdo con el diseño de la investigación, como se muestra en la Tabla 39

Tabla 39: Estrategias cualitativas y cuantitativas en métodos empíricos

Métodos empíricos	Estrategia cualitativa / cuantitativa
Experimento	Cuantitativa
Caso de estudio	Cualitativa y cuantitativa
Encuesta	Cualitativa y cuantitativa
Post-mortem	Cualitativa y cuantitativa

Dado que para el trabajo de investigación realizado se aplicó un caso de estudio y encuestas, se describen más a profundidad a continuación

2.1 Casos de estudio

Un caso de estudio investiga una sola entidad o fenómeno dentro de un espacio de tiempo específico. El investigador recopila información detallada sobre esta entidad o fenómeno aplicando una variedad de procedimientos [4].

Los casos de estudio son muy adecuados para la evaluación industrial de los métodos y herramientas de ingeniería web y de software porque pueden evitar problemas de ampliación. Los casos de estudio toman muestras de las variables que representan la situación típica y pueden tener como propósito la comparación.

Una ventaja de los estudios de caso es que son más fáciles de planificar, pero las desventajas son que los resultados son difíciles de generalizar y más difíciles de interpretar, es decir, es posible mostrar los efectos en una situación típica, pero no puede generalizarse a cada situación [14].

La investigación de casos de estudio es un método utilizado para estudios empíricos en diversas ciencias, como la sociología, la medicina y la psicología. Dentro de la ingeniería

web y de software, los estudios de casos no solo deben usarse para evaluar cómo o por qué ocurren ciertos fenómenos, sino también para evaluar las diferencias entre, por ejemplo, dos métodos de diseño. Esto significa, en otras palabras, determinar "cuál es el mejor" de los dos métodos [14]. Un ejemplo de un caso de estudio podría ser evaluar si el uso de la lectura basada en perspectiva aumenta la calidad de las especificaciones de los requisitos. Un estudio como este no puede verificar que la lectura basada en perspectiva reduce el número de fallos que llegan a la prueba, ya que esto requiere un grupo de referencia que no utilice técnicas basadas en perspectiva.

Un caso de estudio puede aplicarse como una estrategia de investigación comparativa, comparando los resultados de usar un método o alguna forma de manipulación, con los resultados de usar otro enfoque. Para evitar sesgos y garantizar la validez interna, es necesario crear una base sólida para evaluar los resultados del estudio de caso. Hay tres formas de organizar el estudio para facilitar esto [6].

- Una comparación de los resultados del uso del nuevo método con unos datos iniciales, previos o de línea de base. Por ejemplo, una empresa podría recopilar datos de proyectos estándar y calcular características como productividad promedio y tasa de defectos. Entonces es posible comparar los resultados del caso de estudio con las cifras de promedio y tasa de defectos de la línea de base.
- Un proyecto hermano puede ser elegido como un punto de comparación o línea de base. El proyecto tomado como caso de estudio utiliza el nuevo método y el proyecto hermano el método actual para poder comparar. Para tener mejores resultados es recomendable que ambos proyectos deben tengan las mismas características, es decir sean comparables.
- Si el método se aplica a componentes individuales de un producto, podría aplicarse al azar a algunos componentes y a otros no. Esto es muy similar a un experimento, pero como los proyectos no se extraen al azar de la población de todos los proyectos, no es un experimento.

2.2 Encuesta

Las encuestas se realizan cuando el uso de una técnica o herramienta ya ha tenido lugar [13] o es decir previamente para capturar el estado actual. Las encuestas pueden, por ejemplo, ser utilizadas para encuestas de opinión y estudios de mercado. Normalmente, la información recopilada se organiza en un formulario que puede utilizarse tanto para una evaluación cuantitativa, como cualitativa.

Las encuestas proporcionan un gran número de variables para evaluar, pero es necesario tratar de obtener la mayor comprensión posible a partir del menor número de variables, ya que esta reducción también facilita el trabajo de análisis.

Un aspecto interesante de las encuestas es que permite recopilar de muchas variables, que en muchos casos pueden ser cuantificadas y procesadas por ordenadores. Esto hace que sea posible construir una variedad de modelos y luego seleccionar el que mejor se ajuste a los propósitos de la investigación.

El objetivo general para realizar una encuesta es uno de los siguientes [15]:

- Descriptivo.
- Explicativo.
- Explorativa.

Se pueden realizar encuestas descriptivas para permitir afirmaciones sobre alguna población. Esto podría estar determinando la distribución de ciertas características o atributos de dicha población. La preocupación no es acerca de por qué existe la distribución observada, sino de caracterizarla.

Las encuestas explicativas apuntan a hacer afirmaciones explicativas sobre la población. Por ejemplo, unos desarrolladores prefieren unas técnicas mientras que otras prefieren otra. Al examinar las relaciones entre diferentes técnicas candidatas y varias variables explicativas, podemos tratar de explicar por qué los desarrolladores eligen una de las técnicas.

Finalmente, las encuestas exploratorias se utilizan como un estudio previo a una investigación más exhaustiva para garantizar que no se den problemas importantes en la futura investigación. La información se recopila y analiza, y los resultados se utilizan para mejorar la investigación completa. En otras palabras, la encuesta exploratoria no responde a la pregunta de investigación básica, pero puede proporcionar nuevas posibilidades que podrían analizarse y, por lo tanto, deberían seguirse en la encuesta más centrada o completa.

Los dos medios más comunes para la recopilación de datos de una encuesta son los cuestionarios y las entrevistas [15]. Los cuestionarios se pueden proporcionar en papel o en algún formulario electrónico, por ejemplo, correo electrónico o páginas web. El método básico para la recopilación de datos a través de cuestionarios es enviar el cuestionario junto con instrucciones sobre cómo completarlo. Finalmente, la persona responde al cuestionario y luego lo devuelve al investigador.

Dejar que los entrevistadores manejen los cuestionarios (por teléfono o cara a cara) en lugar de los propios encuestados, ofrece una serie de ventajas entre ellas: Las encuestas de entrevista generalmente alcanzan tasas de respuesta más altas que, por ejemplo, las encuestas por correo, un entrevistador generalmente disminuye la cantidad de “no sé” y “No contesta”, porque puede responder preguntas sobre el cuestionario; es posible que el entrevistador observe y haga preguntas. La desventaja es el costo y el tiempo, que dependen del tamaño de la muestra, y también están relacionados con las intenciones de la investigación.

Anexo B: Resultados evaluación automática de accesibilidad

TAW Informe resumen

<https://www.tawdis.net/resumen>

[Inicio](#)

[ES] [EN] [PT]

Resumen

Servicios

56 Problemas
en 6 criterios de éxito

Son necesarias correcciones

Perceptible 23

Operable 23

Comprensible 1

Robusto 9

Herramientas

134 Advertencias
en 15 criterios de éxito

Es necesario revisar manualmente

Perceptible 79

Operable 33

Comprensible 6

Robusto 16

Contacto

13 No verificad
en 13 cri de éxito

Comprobación completamente manual

Perceptible 4

Operable 5

Comprensible

Robusto 0

Recurso: <https://ocw.mit.edu/index.htm> **Fecha:** 23/06/2019 02:41 **Pautas V**
Nivel del análisis: AA **Tecnologías:** HTML, CSS

Acceda al **informe detallado** para obtener más información incidencias detectadas.

@ email

Accessibility Review

Accessibility Review (Guidelines: [WCAG 2.0 \(Level AA\)](#))
 Export Format: pdf Report to Export: all Get PDF

Known Problems(40) Likely Problems (2) Potential Problems (483) HTML Validation CSS Validation

1.1 Text Alternatives: Provide text alternatives for any non-text content

Success Criteria 1.1.1 Non-text Content (A)

Check 1: [img element missing alt attribute](#).

Repair: Add an alt attribute to your img element.

Line 187, Column 13:


```

```

Line 635, Column 169:


```

```

Line 643, Column 184:

Anexo C: Relevancia de los aspectos Sirius según los tipos de sitios web

Aspectos	Criterio	Administración Pública / Institucional	Banca electrónica	Blog	Comercio electrónico	Comunicación / Noticias	Corporativo / Empresa	Descargas	Educativo / Formativo	Entornos colaborativos / Wikis	Foros / Chat	Ocio / Entretenimiento	Personal	Portal de Servicios	Servicios interactivos basados en imágenes	Servicios interactivos no basados en imágenes	Webmail / Correo
ASPECTOS GENERALES	AG1	MA	MA	MO	MA	ME	MA	ME	MA	MA	MO	ME	ME	MA	MA	MA	ME
	AG2	CR	CR	MO	CR	CR	MA	MA	CR	MA	MO	ME	ME	MA	MA	MA	MA
	AG3	MA	MA	ME	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	ME	ME	MA	ME	MA	MA
	AG4	MA	MA	MO	ME	MA	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MA
	AG5	MA	MA	ME	MA	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MA	MO	ME	MA
	AG6	CR	MA	ME	MA	MA	ME	ME	MA	ME	ME	ME	ME	MA	MA	ME	MA
	AG7	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MO	MA	MA	MA	ME	MO	MA	ME	ME	ME
	AG8	MA	MA	MO	MA	MA	MA	MO	ME	MO	MO	MO	MO	ME	MO	ME	ME
	AG9	MA	MA	ME	MA	MA	ME	MO	ME	ME	ME	MO	ME	ME	MO	ME	ME
	AG10	MA	ME	CR	MA	CR	ME	MA	ME	MA	MA	MA	ME	MA	MA	MA	CR
IDENTIDAD E INFORMACIÓN	II.1	MA	ME	MO	ME	ME	ME	ME	MO	MO	MO	MO	MO	ME	MO	MO	ME
	II.2	MA	MA	ME	MA	ME	MA	MO	ME	ME	ME	MO	MO	ME	ME	ME	ME
	II.3	ME	ME	MO	ME	MO	ME	MO	ME	MO	MO	MO	ME	ME	MO	ME	MO
	II.4	MA	MA	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MO	ME	MO	ME	ME
	II.5	MA	MA	ME	MA	ME	MA	MO	ME	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	MO
	II.6	MA	MA	ME	MA	ME	ME	MO	ME	ME	ME	MO	MO	MO	MO	ME	ME
	II.7	ME	ME	ME	ME	MA	ME	MO	MA	MA	MO	ME	ME	ME	MO	ME	ME
ESTRUCTURA Y NAVEGACIÓN	EN.1	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO
	EN.2	MA	ME	MA	MA	ME	MA	ME	MA	ME	ME	MO	ME	MA	ME	MA	MA
	EN.3	MA	MO	MA	MA	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	MO	ME	MA	MA	ME
	EN.4	MA	MO	MA	MA	ME	ME	ME	MA	MA	ME	ME	ME	MA	ME	ME	ME
	EN.5	MA	MO	MA	MA	ME	ME	ME	MA	ME	ME	MO	MO	MA	MO	ME	ME
	EN.6	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	ME	ME	ME	MA	MA	MA	MA
	EN.7	MA	ME	MA	MA	MA	ME	ME	MA	ME	ME	ME	ME	MA	MA	MA	ME
	EN.8	MA	ME	MA	MA	ME	MA	ME	MA	ME	ME	MO	ME	MA	MO	ME	ME
	EN.9	CR	ME	MA	CR	ME	MA	MA	MA	MA	ME	ME	ME	MA	MO	MA	MA
	EN.10	MO	ME	MO	ME	MO	MO	ME	MO	MO	MO	MO	MO	MO	ME	MO	ME
	EN.11	ME	MA	ME	MA	ME	ME	MA	ME	ME	ME	MA	ME	MA	MA	ME	MA
	EN.12	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MA	ME	ME
	EN.13	CR	MO	MA	CR	MA	MA	MA	MA	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MA	MA
	EN.14	MA	ME	MA	ME	ME	MO	MO	ME	ME	MO	MO	MO	ME	ME	ME	ME
	RO.1	MA	ME	MA	MA	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	MA	ME	ME
ROTULADO	RO.2	ME	MO	MA	MA	ME	ME	ME	ME	ME	MO	MO	MO	MA	ME	MA	ME
	RO.3	MA	ME	MA	MA	ME	ME	ME	ME	ME	MO	MO	ME	MA	MO	ME	MO
	RO.4	ME	ME	ME	ME	MO	ME	MO	MO	MO	MO	MO	ME	ME	ME	ME	ME

LAYOUT DE LA PÁGINA	RO.5	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME
	RO.6	ME	MO	MA	MA	MO	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	ME
	LA.1	MA	MO	MA	MA	MA	ME	MO	ME	ME	ME	MO	MO	ME	ME	MO	ME	ME
	LA.2	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	ME	MO	MO	ME	ME	MA	ME	ME
	LA.3	MA	ME	MA	MA	MA	MA	MO	ME	ME	ME	ME	MO	ME	MA	MA	ME	ME
	LA.4	MA	ME	ME	ME	MA	ME	MO	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME
	LA.5	ME	ME	MA	MA	MA	MA	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MA	ME	MA	ME
	LA.6	MA	ME	MA	MA	MA	ME	MO	ME	MA	MA	MO	MO	ME	MA	ME	ME	ME
	LA.7	ME	MO	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	MO	MO	MO	ME	ME	ME	ME	MO
	LA.8	MA	ME	MA	MA	ME	ME	MO	MA	ME	MO	MO	MO	ME	MO	MA	MO	MA
ENTENDIBILIDAD Y FACILIDAD EN LA INTERACCIÓN	LA.9	CR	ME	MA	CR	CR	MA	ME	MA	MA	MA	ME	ME	MA	MA	MA	MA	MA
	LA.10	MA	MA	MO	ME	MA	MO	ME	ME	ME	MO	MO	MO	MO	MO	ME	ME	ME
	EF.1	CR	CR	MA	MA	MA	ME	MO	MA	MA	MO	MO	MO	ME	ME	MA	ME	ME
	EF.2	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MO	ME	MO
	EF.3	ME	MO	MA	ME	MA	ME	MO	ME	MA	ME	ME	MO	ME	ME	MO	ME	MO
	EF.4	MA	MA	ME	MA	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	MA	MA	MA
	EF.5	MA	MA	MA	MA	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MA	MA	MA	MA
	EF.6	MA	ME	MA	MA	MA	ME	ME	ME	ME	MO	MO	MO	MO	MA	MO	MA	ME
	EF.7	MA	ME	MA	MA	ME	ME	MO	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME	MA	MA
	CR.1	ME	MO	MA	MA	MO	MO	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MA	MA	MA
CONTROL Y RETORALIMENTACIÓN	CR.2	ME	MO	MA	MA	ME	MO	MO	MO	MO	MO	ME	MO	MO	ME	MA	MA	ME
	CR.3	MA	ME	MA	CR	ME	MO	ME	ME	ME	MO	MO	MO	MO	ME	MA	ME	ME
	CR.4	CR	ME	MA	CR	MO	MA	ME	ME	ME	MO	MO	MO	ME	MA	ME	MA	MA
	CR.5	MA	MO	MO	MA	MO	MA	MO	MO	ME	MO	MO	MO	ME	ME	ME	ME	MA
	CR.6	MA	CR	MO	CR	ME	MA	CR	MO	ME	MA	MA	MO	MA	CR	CR	MA	MA
	CR.7	MA	ME	MA	CR	ME	MO	ME	ME	MA	ME	ME	ME	ME	MA	MA	MA	MA
	CR.8	MA	ME	MA	MA	ME	ME	MO	ME	MA	ME	ME	MO	ME	MA	ME	MA	MA
	CR.9	MA	MO	ME	CR	ME	ME	MO	ME	ME	MO	MO	MO	ME	ME	MA	MO	ME
	CR.10	MA	ME	MO	MA	MO	ME	MO	MO	ME	MO	MO	MO	MO	ME	MO	ME	ME
	EM.1	ME	MO	MO	MO	MA	MA	MO	ME	MO	MO	MA	MA	MO	MA	MA	ME	MO
ELEMENTOS MULTIMEDIA	EM.2	ME	MO	MO	CR	MA	ME	MA	MA	MA	MO	MA	MO	MA	CR	MA	ME	ME
	EM.3	MO	MO	MA	MA	MA	ME	MO	ME	ME	MO	MA	MO	MA	MA	MA	MA	ME
	EM.4	ME	ME	MO	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MO	ME	ME	ME	MA	ME	ME	ME
	EM.5	MA	MO	MA	MA	ME	MA	ME	ME	MA	MO	MO	ME	ME	MA	MA	MA	MA
	EM.6	MO	MO	MO	MO	MA	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO	MO
BÚSQUEDA	BU.1	CR	MA	MO	CR	MA	MO	ME	MA	MA	MO	ME	MO	MO	MO	MA	MA	MA
	BU.2	MA	MO	MA	MA	ME	MA	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MA	MA	MA	MA
	BU.3	MA	ME	MA	MA	MA	ME	MA	ME	ME	MO	ME	MO	MA	ME	ME	ME	ME
	BU.4	MA	MO	ME	MA	ME	ME	ME	MA	ME	MA	MO	MO	MA	MA	MA	MA	MA
	BU.5	CR	CR	MO	CR	CR	MO	MA	CR	MA	MO	MA	ME	MO	MA	MA	MA	MA
	BU.6	MA	MO	ME	MA	MA	ME	MA	ME	MA	ME	ME	MO	MA	ME	ME	ME	ME
	BU.7	MA	ME	MA	MA	MA	ME	MA	MA	MA	ME	ME	ME	MA	MA	MA	MA	MA
	BU.8	ME	MO	MA	MA	ME	ME	ME	MA	ME	ME	MO	MO	ME	ME	ME	ME	ME
AYUDA	AY.1	MA	MO	MA	MA	MO	MO	MO	ME	ME	ME	MO	MO	MO	MA	MA	MA	ME
	AY.2	ME	MO	MA	ME	MO	MO	MO	ME	ME	ME	MO	MO	MO	ME	ME	ME	ME
	AY.3	MA	MO	CR	MA	MO	ME	ME	ME	ME	MO	MO	MO	ME	ME	ME	ME	ME
	AY.4	MA	MO	MA	MA	MO	ME	ME	ME	ME	ME	MO	MO	ME	MA	ME	ME	ME
	AY.5	MA	MO	MA	MA	MO	ME	ME	ME	ME	ME	MO	MO	ME	MA	ME	ME	ME

Anexo D: Hojas de mapeo para responder preguntas de investigación

Anexo D1

PI1: ¿Cuáles estilos y patrones arquitectónicos han sido adoptados por los sistemas/plataformas REA?

ARCHITECTURAL STYLE								Architectural Pattern		Design Patterns			OER Type			
Code	REST	SOA	Client / Server	Layers / Tiers	Cloud	Microservices	Other	Broker	MVC	Factory	Proxy	Serializer	LO	OER	OCW	MOOC
(Anido, 2002)	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Ochoa, 2002)	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(IEEE,2003)	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Pahl, 2004)	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N
(Kellar, 2004)	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Lai, 2007)	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N
(Robal, 2009)	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Li-fang, 2010)	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Leal, 2011)	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Piedra, 2011)	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Yu, 2011)	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Dietze,2012)	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Piedra, 2012)	Y	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N
(Peco, 2013)	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Khanna, 2013)	N	N	N	N	N	N	Y	framework	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Sonwalkar, 2013)	N	N	N	N	Y	N	N		N	N	N	N	N	N	N	Y
(Vladoiu, 2013)	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N
(Ding, 2014)	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y

(Jurado, 2014)	Y	N	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Moltó, 2014)	N	Y	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Hernández, 2014)	N	Y	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Piedra, 2014)	N	Y	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Selviandro, 2014)	N	N	N	Y	Y	N	N		N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Wright, 2014)	Y	N	Y	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Zhuo, 2014)	N	Y	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Labib, 2015)	N	N	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Cruz-Benito, 2015)	Y	N	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Nakabayashi, 2015)	N	N	N	N	N	N	Y	Content scheme	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Navarrete, 2015)	N	N	N	N	N	N	Y	List of components	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Cherkaoui, 2015)	N	N	N	N	N	N	Y	Operative scheme	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Rajabi, 2015)	N	N	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Songbin, 2015)	N	Y	N	Y	Y	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Chunwijitra, 2015)	Y	N	N	N	Y	N	N		N	N	N	N	N	N	Y	N	Y
(Alario-Hoyos, 2015)	Y	N	Y	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Buchem, 2015)	N	Y	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Zhuahdar, 2015)	N	Y	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Cook, 2015)	N	N	Y	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Caeiro-Rodriguez, 2015)	Y	N	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Piedra, 2015)	N	Y	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Navarrete, 2016)	N	N	N	N	N	N	Y	Operative scheme	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Perez-Rodriguez, 2016)	N	N	N	Y	N	N	N		Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N
(Vasiliev, 2016)	N	N	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	N	Y	N	N

(Bremgartner, 2017)	N	N	N	N	N	N	Y	Recommender scheme	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Longo, 2017)	N	N	N	Y	N	Y	N		Y	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Valenzuela, 2017)	N	Y	Y	N	N	N	N		N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Hajri, 2017)	N	N	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	N	Y	N	Y
(Sun, 2016)	N	N	N	N	Y	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Rustam, 2016)	N	N	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Jin, 2017)	N	N	Y	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Vigentini, 2017)	N	N	N	N	Y	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Favario, 2016)	N	N	N	Y	N	N	N		N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Villalba, 2017)	N	N	N	N	N	N	Y	Operative scheme	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Rodriguez, 2017)	N	N	N	N	N	N	Y	Operative scheme	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Edx, 2018)	Y	N	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N	N	N	Y

Anexo D2

PI2: ¿Qué elementos arquitectónicos componen los sistemas/plataformas REA?

Code	Architecture Components																	OER Type			
	Storage	UI	Services	Orchestrator	Component for collaborative and cooperative work	Social components or tools	Communication (protocols, ports, interfaces)	Authentication	Assessment	Analytics Module	Semantic engine	Email / notifications	Recommender	Business Logic or Rules, Domain	Search engine	Adaptive Engine	CMS	LO	OER	OCW	MOOC
(Anido, 2002)	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N
(Ochoa, 2002)	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(IEEE, 2003)	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Pahl, 2004)	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Kellar, 2004)	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N
(Lai, 2007)	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N
(Robal, 2009)	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N
(Li-fang, 2010)	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Leal, 2011)	Y	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	N
(Piedra, 2011)	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N
(Yu, 2011)	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Dietze, 2012)	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Piedra, 2012)	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Peco, 2013)	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	N	N	Y
(Khanna, 2013)	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N
(Sonwalkar, 2013)	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Vladoiu, 2013)	Y	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	N

(Ding, 2014)	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y
(Jurado, 2014)	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y
(Moltó, 2014)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y
(Hernández, 2014)	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y
(Piedra, 2014)	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y
(Selviandro, 2014)	Y	N	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	N	Y	N	N
(Wright, 2014)	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Zhuo, 2014)	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Labib, 2015)	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Cruz-Benito, 2015)	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y
(Nakabayashi, 2015)	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N
(Navarrete, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N
(Cherkaoui, 2015)	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y
(Rajabi, 2015)	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Songbin, 2015)	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y
(Chunwijitra, 2015)	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y
(Alario-Hoyos, 2015)	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y
(Buchem, 2015)	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y
(Zuhadar, 2015)	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	N	N	N	Y
(Cook, 2015)	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y
(Caeiro-Rodriguez, 2015)	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Piedra, 2015)	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N

(Navarrete, 2016)	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Pérez-Rodríguez, 2016)	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N
(Vasiliev, 2016)	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N
(Bremgartner, 2017)	Y	Y	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	N
(Longo, 2017)	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y
(Valenzuela, 2017)	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N
(Hajri, 2017)	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	Y
(Sun, 2016)	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	N	Y
(Rustam, 2016)	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Jin, 2017)	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Y
(Vigentini, 2017)	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y
(Favario, 2016)	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	N
(Villalba, 2017)	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N
(Rodríguez, 2017)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Edx, 2018)	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y

Anexo D3

PI3: ¿Qué características funcionales y no funcionales han sido consideradas en los sistemas/plataformas REA?

	Functional compliance				Reliability compliance				Usability compliance				Efficiency Compliance				Maintainability compliance				Portability compliance				No Funcional Features												OER types										
	Suitability	Accuracy	Interoperability	Security	Functionality	Maturity	Fault tolerance	Recoverability	Reliability	Understandability	Learnability	Operability	Attractiveness	Usability	Time behavior	Resource utilization	Efficiency	Analyzability	Changeability	Stability	Testability	Maintainability	Adaptability	Installability	Co-existence	Replaceability	Portability	Accessibility	Auditability	Availability	Reusability	Persistence	Scalability	Performance	Quality	Response time	Cost development	LO	OER	OCW	MOOC						
(Anido, 2002)					Y																										Y			Y													
(Ochoa, 2002)					Y																													Y								Y					
(IEEE, 2003)			Y		Y																							Y				Y			Y												
(Pahl, 2004)					Y																						Y		Y						Y								Y				
(Kellar, 2004)			Y		Y																								Y				Y					Y									
(Lai, 2007)				Y										Y																													Y				
(Robal, 2009)			Y	Y	Y										Y														Y									Y	Y					Y			
(Li-fang, 2010)									Y				Y				Y																											Y			
(Leal, 2011)																																									Y						
(Piedra, 2011)					Y																															Y							Y				
(Yu, 2011)			Y		Y																															Y							Y				
(Dietze, 2012)			Y		Y																																							Y			
(Piedra, 2012)			Y																								Y		Y															Y			
(Peco, 2013)				Y																																											
(Khanna, 2013)							Y										Y							Y																			Y		Y		
(Sonwalkar, 2013)																																															
(Vladoiu, 2013)																																															
(Ding, 2014)					Y																																								Y		
(Jurado, 2014)			Y		Y																																								Y		
(Molot, 2014)					Y		Y						Y										Y																						Y		
(Hernández, 2014)			Y		Y																																								Y		
(Piedra, 2014)			Y														Y																												Y		
(Selviandro, 2014)																																														Y	
(Wright, 2014)				Y	Y																																							Y			
(Zhuo, 2014)																																														Y	
(Labib, 2015)					Y																																									Y	
(Cruz-Benito, 2015)					Y																																									Y	
(Nakabayashi, 2015)					Y																																									Y	
(Navarrete, 2015)					Y									Y																																Y	
(Cherkaoui, 2015)					Y																		Y																							Y	
(Rajabi, 2015)					Y															Y				Y																					Y		
(Songbin, 2015)				Y																																										Y	
(Chunwijitra, 2015)				Y																																										Y	
(Alario-Hoyos, 2015)		Y			Y																																									Y	
(Buchem, 2015)					Y							Y																																		Y	
(Zhuhadar, 2015)		Y	Y		Y																																								Y		
(Cook, 2015)		Y							Y																																				Y		
(Varela-Rodriguez, 2015)					Y																																									Y	
(Piedra, 2015)			Y		Y													Y																												Y	
(Navarrete, 2016)																																															Y
(Varela-Rodriguez, 2016)					Y																																									Y	
(Vassiliev, 2016)			Y		Y					Y																																				Y	
(Bremgartner, 2017)					Y																																									Y	
(Longo, 2017)		Y			Y					Y							Y																														

	Functional compliance					Reliability compliance				Usability compliance				Efficiency Compliance				Maintainability compliance				Portability compliance					No Functional Features										OER types														
	Subtality	Accuracy	Interoperability	Security	Functionality	Maturity	Fault tolerance	Recoverability	Reliability	Understandability	Learnability	Operability	Attractiveness	Usability	Time behavior	Resource utilization	Efficiency	Analyzability	Changeability	Stability	Testability	Maintainability	Adaptability	Installability	Co-existence	Replaceability	Portability	Accessibility	Auditability	Availability	Reusability	Persistence	Scalability	Performance	Quality	Response time	Cost development	LO	OER	OCW	MOOC										
(Anido, 2002)					Y																																														
(Ochoa, 2002)					Y																																														
(IEEE, 2003)			Y		Y																							Y	Y						Y																
(Pahi, 2004)					Y																							Y																							
(Kellar, 2004)			Y		Y																								Y																						
(Lai, 2007)				Y										Y																																					
(Robal, 2009)			Y	Y	Y										Y													Y										Y		Y											
(Li-fang, 2010)										Y			Y				Y																																		
(Leal, 2011)													Y																																						
(Piedra, 2011)					Y																																														
(Yu, 2011)			Y		Y																																														
(Dietze, 2012)			Y		Y																																														
(Piedra, 2012)			Y																										Y	Y																					
(Peco, 2013)				Y																																															
(Khanna, 2013)																	Y							Y																											
(Sonwalkar, 2013)							Y																							Y																					
(Vladoiu, 2013)									Y																																										
(Ding, 2014)					Y																																														
(Jurado, 2014)			Y		Y																																														
(Moltó, 2014)					Y		Y						Y																																						
(Hernández, 2014)			Y		Y																																														
(Piedra, 2014)			Y																																																
(Selviandro, 2014)																													Y																						
(Wright, 2014)				Y	Y																																														
(Zhuo, 2014)																																																			
(Labib, 2015)					Y																																														
(Cruz-Benito, 2015)					Y																																														
(Nakabayashi, 2015)					Y																																														
(Navarrete, 2015)					Y																																														
(Cherkaoui, 2015)					Y																																														
(Rajabi, 2015)					Y																																														
(Songbin, 2015)				Y																																															

Anexo D4

PI4: ¿Qué características funcionales y no funcionales para mejorar la accesibilidad y usabilidad han sido aplicadas en las arquitecturas de los sistemas/plataformas REA?

	ACCESSIBILITY AND USABILITY FEATURES														OER TYPE			
Code	Accessi bilty	Usabili ty	Large Font	High contrast	Clear label	Uniform navigati on menu	Lang uage Bar	Disa bility profil e bar	Blind ness.	Deaf ness.	Simplify.	Motor skills.	Low visio n	Error messag e	LO	OER	OCW	MOOC
(Anido, 2002)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	
(Ochoa, 2002)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	
(IEEE, 2003)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Pahl, 2004)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Kellar, 2004)	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Lai, 2007)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Robal, 2009)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Li-fang, 2010)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Leal, 2011)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Piedra, 2011)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Yu, 2011)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Dietze, 2012)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Piedra, 2012)	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Peco, 2013)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Khanna, 2013)	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Sonwalkar, 2013)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Vladoiu, 2013)	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	
(Ding, 2014)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Jurado, 2014)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y

(Moltó, 2014)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Hernández, 2014)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Piedra, 2014)	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Selviandro, 2014)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Wright, 2014)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Zhuo, 2014)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Labib, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Cruz-Benito, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Nakabayashi, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Navarrete, 2015)	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Cherkaoui, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Rajabi, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Songbin, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Chunwijitra, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y		Y
(Alario-Hoyos, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Buchem, 2015)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Zuhadar, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Cook, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Caeiro-Rodriguez, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Piedra, 2015)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Navarrete, 2016)	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N
(Perez-Rodriguez, 2016)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Vasiliev, 2016)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Bremgartner, 2017)	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N

(Longo, 2017)	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Valenzuela, 2017)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N
(Hajri, 2017)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y
(Sun, 2016)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Rustam, 2016)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Jin, 2017)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Vigentini, 2017)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
(Favario, 2016)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Villalba, 2017)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
(Rodriguez, 2017)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N
(Edx, 2018)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y

Anexo D5

PI5: ¿Qué elementos de líneas de producto software (LPS) se han incorporado en los sistemas/plataformas REA?

Code	SPL features	OER TYPE			
		LO	OER	OCW	MOOC
(Anido, 2002)	N	N	N	Y	N
(Ochoa, 2002)	N	N	N	Y	N
(IEEE,2003)	N	Y	N	N	N
(Pahl, 2004)	N	Y	N	N	N
(Kellar, 2004)	N	Y	N	N	N
(Lai, 2007)	N	N	N	Y	N
(Robal, 2009)	N	Y	N	N	N
(Li-fang, 2010)	N	N	N	Y	N
(Leal, 2011)	Y	Y	N	N	N
(Piedra, 2011)	N	N	Y	N	N
(Yu, 2011)	N	N	Y	N	N
(Dietze,2012)	N	N	Y	N	N
(Piedra, 2012)	N	N	N	Y	N
(Peco, 2013)	N	N	N	N	Y
(Khanna, 2013)	N	N	Y	N	N
(Sonwalkar, 2013)	N	N	N	N	Y
(Vladoiu, 2013)	N	N	Y	Y	
(Ding, 2014)	N	N	N	N	Y
(Jurado, 2014)	N	N	N	N	Y
(Moltó, 2014)	N	N	N	N	Y
(Hernández, 2014)	N	N	N	N	Y
(Piedra, 2014)	N	N	N	N	Y
(Selviandro, 2014)	N	N	Y	N	N
(Wright, 2014)	N	N	Y	N	N
(Zhuo, 2014)	N	N	N	N	Y
(Labib, 2015)	Y	Y	N	N	N
(Cruz-Benito, 2015)	N	N	N	N	Y
(Nakabayashi, 2015)	N	N	N	Y	N
(Navarrete, 2015)	N	N	Y	N	N
(Cherkaoui, 2015)	N	N	N	N	Y
(Rajabi, 2015)	N	Y	N	N	
(Songbin, 2015)	N	N	N	N	Y
(Chunwijitra, 2015)	N	N	Y	N	Y
(Alario-Hoyos, 2015)	N	N	N	N	Y
(Buchem, 2015)	N	N	N	N	Y
(Zhuhadar, 2015)	N	N	N	N	Y

(Cook, 2015)	N	N	N	N	Y
(Caeiro-Rodríguez, 2015)	N	N	Y	N	N
(Navarrete, 2016)	N	N	Y	N	N
(Pérez-Rodríguez, 2016)	N	N	Y	N	N
(Vasiliev, 2016)	N	N	Y	N	N
(Bremgartner, 2017)	N	N	Y	N	N
(Longo, 2017)	N	N	N	N	Y
(Valenzuela, 2017)	N	Y	N	N	N
(Hajri, 2017)	N	N	N	N	Y
(Sun, 2016)	N	N	N	N	Y
(Rustam, 2016)	N	N	N	N	Y
(Jin, 2017)	N	N	N	N	Y
(Vigentini, 2017)	N	N	N	N	Y
(Favario, 2016)	N	N	Y	N	N
(Villalba, 2017)	N	N	Y	N	N
(Edx, 2018)	N	N	N	N	Y

Anexo E: Rigor y Relevancia de los estudios primarios

	Code	Context described (C)	Study design described (S)	Validity discussed (V)	Rigor	Context (C)	Research Method (RM)	User/Subject (U)	Scale (S)	Relevancia
1	(Anido, 2002)	0	0,5	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5
2	(Ochoa, 2002)	1	1	1	3	1	0,5	1	1	3,5
3	(IEEE, 2003)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	(Pahl, 2004)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	(Kellar, 2004)	0,5	0,5	0	1	0,5	0	0,5	0,5	1,5
6	(Lai, 2007)	0	0	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	1
7	(Robal, 2009)	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0,5
8	(Li-fang, 2010)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	(Leal, 2011)	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5
10	(Piedra, 2011)	0,5	0,5	0	1	0,5	0	0,5	0,5	1,5
11	(Yu, 2011)	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5
12	(Dietze, 2012)	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5
13	(Piedra, 2012)	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0	0,5	0	1
14	(Peco, 2013)	0,5	0	0,5	1	1	0	1	1	3
15	(Khanna, 2013)	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0
16	(Sonwalkar, 2013)	0,5	0,5	0	1	0	0	0,5	1	1,5
17	(Vladoiu, 2013)	0,5	0,5	0	1	0,5	0	0,5	0	1
18	(Ding, 2014)	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0
19	(Jurado, 2014)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	(Moltó, 2014)	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0	0,5	0,5	1,5
21	(Hernández, 2014)	1	0,5	1	2,5	1	0,5	1	1	3,5
22	(Piedra, 2014)	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0	1	0,5	2
23	(Selviandro, 2014)	1	1	1	3	1	0,5	1	0,5	3
24	(Wright, 2014)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	(Zhuo, 2014)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	(Labib, 2015)	0,5	0,5	0	1	0	0	0,5	0,5	1
27	(Cruz-Benito, 2015)	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2
28	(Nakabayashi, 2015)	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	1
29	(Navarrete, 2015)	0,5	1	1	2,5	1	0,5	0,5	0,5	2,5
30	(Cherkaoui, 2015)	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5
31	(Rajabi, 2015)	1	0,5	1	2	1	0,5	0,5	0,5	1,5
32	(Songbin, 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	(Chunwijitra, 2015)	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0,5
34	(Alario-Hoyos, 2015)	0,5	0,5	0	1	0,5	0	0	0	0,5
35	(Buchem, 2015)	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0
36	(Zhuhadar, 2015)	1	0,5	0,5	2	1	0,5	0,5	0,5	2,5
37	(Cook, 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	(Caeiro-Rodríguez, 2015)	0	0	1	1	0,5	0,5	0,5	1	2
	(Piedra, 2015)	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0	1
39	(Navarrete, 2016)	0,5	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	1
40	(Pérez-Rodríguez, 2016)	1	1	0,5	2,5	1	0,5	1	1	3,5
41	(Vasiliev, 2016)	0,5	0,5	1	2	0,5	0,5	1	1	3
42	(Bremgartner, 2017)	0,5	0,5	1	2	1	0,5	0,5	0,5	2,5
43	(Longo, 2017)	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	1	1	3
44	(Valenzuela, 2017)	0,5	0,5	0	1	0,5	0	0	0	0,5
45	(Hajri, 2017)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	(Sun, 2016)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	(Rustam, 2016)	0,5	0,5	0	1	0,5	0	0	0	0,5
48	(Jin, 2017)	0,5	0	0,5	1	0	0	0,5	1	1,5
49	(Vigentini, 2017)	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5
50	(Favario, 2017)	0,5	0,5	0,5	1,5	1	0	0,5	0,5	2
51	(Villalba, 2017)	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0
52	(Rodríguez, 2017)	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0
53	(Rodríguez, 2017)	1	1	0,5	2,5	1	0,5	0,5	0,3	2,3
54	(Edx, 2018)	1	0	1	2	1	0	1	1	3