



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería de Sistemas

Metodología para la creación de aplicaciones de realidad extendida aplicada a espacios expositivos. Caso de estudio: Museo Remigio Crespo Toral, Cuenca, Ecuador

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero de Sistemas

Autores:

Agudo Guiracocha Dayana Isabel

CI: 0106589328

Correo electrónico: dayagd.75@gmail.com

Barreto Paredes Christian Fabian

CI: 0105277099

Correo electrónico: cristianbar20@gmail.com

Director:

Ing. Parra Gonzáles Luis Otto PHD

CI: 0102214749

Codirector:

Ing. Granda Juca María Fernanda PHD

CI: 0702952441

Cuenca - Ecuador

18-02-2022



Resumen

Las aplicaciones de realidad extendida deben considerar aspectos críticos como el diseño de la experiencia, el diseño de la interacción y los requerimientos cambiantes del sistema. En especial, cuando se trata de aplicaciones desarrolladas para espacios expositivos, que son espacios en los que los usuarios buscan obtener experiencias únicas y satisfactorias, es necesario considerar aspectos que permitan a estas aplicaciones brindar a los usuarios buenas experiencias de uso. En este contexto, es necesaria la aplicación de una metodología de desarrollo con la cual se obtengan aplicaciones que brinden una buena experiencia de usuario. El objetivo de este trabajo es desarrollar y evaluar una metodología para la creación de este tipo de aplicaciones, fundamentada en el Diseño Centrado en el Usuario y en el enfoque de desarrollo Ágil, en el contexto de los espacios expositivos. Adicionalmente, se plantea un caso de estudio, en el cual se hace uso de la metodología propuesta para desarrollar el prototipo de una aplicación web que permita realizar recorridos 360° sobre la exposición de Elia Liut y la Reserva Arqueológica del Museo Municipal Remigio Crespo Toral de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Este trabajo considera una metodología de investigación experimental que contempla dos enfoques. El primer enfoque, consiste en un componente teórico que brinda los fundamentos necesarios para el desarrollo de este trabajo. El segundo enfoque, consiste en: i) la evaluación empírica de la metodología propuesta, frente al rendimiento y a las percepciones de los usuarios. ii) La evaluación empírica de la usabilidad de un prototipo desarrollado haciendo uso de la metodología propuesta. Finalmente, los resultados de este trabajo indican que la metodología de desarrollo propuesta es fácil de usar, útil y existe una intención de uso en el futuro. En cuanto al prototipo, se determinó que este es usable.

Palabras claves: Realidad extendida. Espacio expositivo. Diseño centrado en el usuario. Enfoque ágil. Metodología.



Abstract

Extended reality applications must consider critical aspects such as experience design, interaction design, and changing system requirements. In particular, when it comes to applications developed for exhibition spaces, which are spaces in which users seek to obtain unique and satisfactory experiences, it is necessary to consider aspects that allow these applications to provide users with good user experiences. In this context, it is necessary to apply a development methodology with which applications that provide a good user experience are obtained. The objective of this work is to develop and evaluate a methodology for the creation of this type of applications, based on User-Centered Design and the Agile development approach, in the context of exhibition spaces. Additionally, a case study is presented, in which the proposed methodology is used to develop the prototype of a web application that allows 360° tours of the Elia Liut exhibition and the Archaeological Reserve of the “Museo Municipal Remigio Crespo Toral” of the city of Cuenca, Ecuador. This work considers an experimental research methodology that contemplates two approaches. The first approach consists of a theoretical component that provides the necessary foundations for the development of this work. The second approach consists of: i) the empirical evaluation of the proposed methodology, against the performance and perceptions of the users. ii) The empirical evaluation of the usability of a prototype developed using the proposed methodology. Finally, the results of this work indicate that the proposed development methodology is easy to use, useful and there is the intention of using it in the future. As for the prototype, it was determined that it is usable.

Keywords: Extended reality. Exhibition space. User centered design. Agile approach. Methodology.



Índice

1.	Capítulo 1: Introducción.....	21
1.1.	Motivación y contexto	21
1.2.	Planteamiento del problema	22
1.3.	Solución propuesta	24
1.4.	Objetivos	25
1.4.1.	Objetivo general	25
1.4.2.	Objetivos específicos.....	25
1.5.	Metodología de investigación.....	25
1.6.	Estructura del trabajo.....	27
2.	Capítulo 2: Marco teórico.....	28
2.1.	Conceptos relacionados con la realidad extendida	28
2.1.1.	Realidad virtual	28
2.1.2.	Realidad aumentada.....	28
2.2.	Procesos de desarrollo de software.....	29
2.2.1.	Desarrollo ágil del software	30
2.3.	Diseño centrado en el usuario.....	30
2.4.	Desarrollo ágil y UCD	32
2.5.	Usabilidad.....	33
2.5.1.	Pruebas de usabilidad.....	33
3.	Capítulo 3: Estado del arte.....	35
3.1.	Trabajos relacionados	35
4.	Capítulo 4: Metodología de desarrollo.....	47
4.1.	Definición de la dirección	47
4.2.	Identificación de problemas clave.....	47
4.3.	Poner el proceso en contexto.....	47
4.4.	Establecer criterios	47
4.5.	Información y recursos de inventario	48



4.6.	Ordenar lógicamente el proceso.....	52
4.6.1.	Comprender y especificar el contexto de uso.....	52
4.6.2.	Especificar los requerimientos del usuario	53
4.6.3.	Recolectar datos.....	54
4.6.4.	Diseñar la arquitectura del sistema	55
4.6.5.	Ciclo VDDE	56
4.6.6.	Cierre del proyecto.....	58
4.7.	Ejecutar la metodología.....	58
4.8.	Evaluar cada paso de la metodología.....	58
4.9.	Facilitar el proceso.....	59
4.10.	Evaluar el desempeño	59
5.	Capítulo 5: Ejecución de la metodología en el caso de estudio	60
5.1.	Comprender y especificar el contexto de uso	60
5.2.	Especificar los requisitos del usuario.....	61
5.3.	Recolectar datos	63
5.4.	Diseño de la arquitectura del sistema.....	66
5.5.	Ciclo VDDE.....	67
5.5.1.	Primer ciclo VDDE	67
5.5.2.	Segundo ciclo VDDE.....	72
5.5.3.	Tercer ciclo VDDE	77
5.6.	Cierre del proyecto	82
6.	Capítulo 6: Evaluación de la metodología.....	84
6.1.	Evaluación empírica de la fase de recolección de datos de la metodología	84
6.1.1.	Plan experimental	84
6.1.2.	Contexto experimental.....	89
6.1.3.	Procedimiento experimental.....	89
6.1.4.	Análisis e interpretación de resultados.....	91



6.1.5.	Presentación y empaquetado de resultados.....	99
6.1.6.	Amenazas a la validez	100
6.2.	Evaluación empírica de la usabilidad del prototipo.....	101
6.2.1.	Plan experimental	101
6.2.2.	Contexto experimental.....	104
6.2.3.	Procedimiento experimental.....	105
6.2.4.	Análisis e interpretación de resultados	105
6.2.5.	Presentación y empaquetado de resultados.....	109
6.2.6.	Amenazas a la validez	113
7.	Capítulo 7: Conclusiones y trabajo futuro.....	114
7.1.	Conclusiones.....	114
7.1.1.	Objetivo general	114
7.1.2.	Objetivo específico 1	115
7.1.3.	Objetivo específico 2.....	116
7.1.4.	Objetivo específico 3.....	117
7.2.	Trabajo futuro	117
8.	Bibliografía	119
Anexos	124



Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Resumen de trabajos relacionados</i>	43
Tabla 2 <i>Productos de la reunión inicial</i>	60
Tabla 3 <i>Requerimientos funcionales y no funcionales</i>	62
Tabla 4 <i>Listado de piezas expositivas desde el punto de vista del experto y del visitante</i>	64
Tabla 5 <i>Listado de tipos de multimedia a utilizar en la aplicación</i>	64
Tabla 6 <i>Listado final de las piezas expositivas a visualizar en la aplicación</i>	65
Tabla 7 <i>Estructura de la información de la base de datos</i>	65
Tabla 8 <i>Listado de instrumentos necesarios para realizar la recolección de datos</i>	65
Tabla 9 <i>Horario para la recolección de datos</i>	66
Tabla 10 <i>Permisos necesarios para acceder a las piezas expositivas</i>	66
Tabla 11 <i>Requerimientos funcionales y no funcionales en orden de prioridad</i>	68
Tabla 12 <i>Requerimientos resueltos, modificaciones y requerimientos nuevos</i>	71
Tabla 13 <i>Requerimientos funcionales y no funcionales en orden de prioridad</i>	72
Tabla 14 <i>Requerimientos resueltos, modificaciones y requerimientos nuevos</i>	76
Tabla 15 <i>Requerimientos funcionales y no funcionales en orden de prioridad</i>	78
Tabla 16 <i>Requerimientos resueltos y modificaciones</i>	81
Tabla 17 <i>Objetivo de la evaluación empírica de la metodología</i>	86
Tabla 18 <i>Hipótesis de investigación para la evaluación de la metodología</i>	86
Tabla 19 <i>Cuestionario para medir las variables dependientes relacionadas con las percepciones</i>	88
Tabla 20 <i>Preguntas abiertas del cuestionario</i>	88
Tabla 21 <i>Variables dependientes para la evaluación de percepciones de los participantes</i>	91
Tabla 22 <i>Estadística descriptiva para las variables dependientes correspondientes a la percepción de los participantes</i>	93
Tabla 23 <i>Significancias para las variables dependientes</i>	93
Tabla 24 <i>Variables dependientes para la evaluación de rendimiento de los participantes</i>	94
Tabla 25 <i>Regresión lineal entre Eficiencia y FUP</i>	95
Tabla 26 <i>Regresión lineal entre Efectividad y UP</i>	96
Tabla 27 <i>Regresión lineal entre FUP y UP</i>	96
Tabla 28 <i>Regresión lineal entre IU y FUP</i>	97
Tabla 29 <i>Regresión lineal entre IU y UP</i>	97
Tabla 30 <i>Resumen de resultados del cuasi-experimento para evaluar la metodología</i>	98
Tabla 31 <i>Resultados del cuestionario acerca de las percepciones de los participantes</i>	99



Tabla 32 <i>Objetivo de la evaluación empírica del prototipo</i>	102
Tabla 33 <i>Hipótesis de investigación para la evaluación del prototipo</i>	103
Tabla 34 <i>Cuestionario SUS para evaluar la usabilidad</i>	103
Tabla 35 <i>Tareas del cuasi-experimento para evaluar la usabilidad</i>	104
Tabla 36 <i>Resumen de puntaje SUS de cada participante</i>	107
Tabla 37 <i>Estadística descriptiva para la usabilidad</i>	108



Índice de Figuras

Figura 1 <i>Actividades de la metodología de Gorscheck. Adaptada de (Gorscheck et al., 2006).</i>	25
Figura 2 <i>Actividades fundamentales del desarrollo de software. Fuente: Autores (2021)</i>	29
Figura 3 <i>Interdependencia de las actividades de UCD. Adaptada de (ISO 9241, 2010)</i>	32
Figura 4 <i>Framework MUSETECH. Adaptada de (Damala et al., 2019)</i>	38
Figura 5 <i>Metodología Scrum. Adaptada de (Sommerville, 1997)</i>	49
Figura 6 <i>Etapas de la metodología de desarrollo propuesta. Fuente: Autores (2021)</i>	52
Figura 7 <i>Cronograma de actividades. Fuente: Autores (2021)</i>	63
Figura 8 <i>Arquitectura del sistema. Fuente: Autores (2021)</i>	67
Figura 9 <i>Pantalla principal. Fuente: Autores (2021)</i>	69
Figura 10 <i>Pantalla del museo. Fuente: Autores (2021)</i>	70
Figura 11 <i>Recorrido virtual de la Sala Elia Liut. Fuente: Autores (2021)</i>	70
Figura 12 <i>Tarjeta infográfica. Fuente: Autores (2021)</i>	71
Figura 13 <i>Pantalla principal. Fuente: Autores (2021)</i>	74
Figura 14 <i>Pantalla del museo. Fuente: Autores (2021)</i>	75
Figura 16 <i>Tarjeta infográfica ampliada. Fuente: Autores (2021)</i>	76
Figura 15 <i>Tarjeta infográfica. Fuente: Autores (2021)</i>	76
Figura 17 <i>Pantalla principal. Fuente: Autores (2021)</i>	79
Figura 18 <i>Pantalla del museo. Fuente: Autores (2021)</i>	80
Figura 20 <i>Tarjeta infográfica ampliada. Fuente: Autores (2021)</i>	82
Figura 19 <i>Tarjeta infográfica. Fuente: Autores (2021)</i>	82
Figura 21 <i>Modelo MEM. Fuente: Adaptada de (Moody, 2001)</i>	85
Figura 22 <i>Diagrama de caja y bigotes de las variables dependientes. Fuente: Autores (2021)</i>	92
Figura 23 <i>Diagrama de caja y bigotes de las variables dependientes de rendimiento. Fuente: Autores (2021)</i>	94
Figura 24 <i>Escala de aceptabilidad del puntaje SUS. Fuente: (Bangor et al., 2009).</i>	106
Figura 25 <i>Diagrama de caja y bigotes del puntaje SUS de los participantes. Fuente: Autores (2021)</i>	107
Figura 26 <i>Cuestionario SUS – pregunta 1. Fuente: Autores (2021)</i>	109
Figura 27 <i>Cuestionario SUS – pregunta 2. Fuente: Autores (2021)</i>	109
Figura 29 <i>Cuestionario SUS – pregunta 4. Fuente: Autores (2021)</i>	110
Figura 28 <i>Cuestionario SUS – pregunta 3. Fuente: Autores (2021)</i>	110
Figura 30 <i>Cuestionario SUS – pregunta 5. Fuente: Autores (2021)</i>	110



Figura 31 Cuestionario SUS – pregunta 6. Fuente: Autores (2021).....	111
Figura 32 Cuestionario SUS – pregunta 7. Fuente: Autores (2021).....	111
Figura 35 Cuestionario SUS – pregunta 10. Fuente: Autores (2021).....	112
Figura 34 Cuestionario SUS – pregunta 9. Fuente: Autores (2021).....	112
Figura 33 Cuestionario SUS – pregunta 8. Fuente: Autores (2021).....	112

Índice de Anexos

Anexo 1. Guía para la etapa de recolección de datos de la metodología.....	124
Anexo 2. Manual de usuario.....	127
Anexo 3. Manual técnico.....	138
Anexo 4. Informe de finalización del proyecto	147



Listado de Abreviaturas

- **XR** – *Extended Reality*: Realidad Extendida.
- **AR** – *Augmented Reality*: Realidad Aumentada.
- **VR** – *Virtual Reality*: Realidad Virtual.
- **MR** – *Mixed Reality*: Realidad Mixta.
- **UNWTO** – *United Nations World Tourism Organization*: Organización Mundial del Turismo de las Naciones Unidas.
- **MSMEs** – *Ministry of Micro, Small and Medium Enterprises*: Ministerio de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa.
- **SIIC** – *Sistema Integral de Información cultural*.
- **MCyP** – *Ministerio de Cultura y Patrimonio*.
- **EODs** – *Entidades Operativas Desconcentradas*.
- **UCD** – *User Center Design*: Diseño Centrado en el Usuario.
- **SDK** – *Software Development Kit*: Kit de Desarrollo de Software.
- **Markerless NFT** – *Markerless Natural Feature Tracking*: Seguimiento de Características Naturales Sin Marcadores.
- **MAR** – *Mobile Augmented Reality*: Realidad Aumentada Móvil.
- **HMD** – *Head Mount Display*: Pantalla Montada en la Cabeza.
- **UX** – *User Experience*: Experiencia de Usuario.
- **GUI** – *Graphical User Interface*: Interfaz Gráfica de Usuario.
- **Tarjetas VSA** – *Verb Subject Adjective*: Tarjetas Verbo Sujeto Adjetivo.
- **Tarjetas PLEX** – *Playful Experiences*: Tarjetas de Experiencias Lúdicas.
- **XP** – *Extreme Programming*: Programación Extrema.
- **HFI** – *Human Factors Integration*: Integración de Factores Humanos.
- **EE** – *Espacio Expositivo*.
- **TICs** – *Tecnologías de la Información y la Comunicación*.
- **GAD** – *Gobierno Autónomo Descentralizado*.
- **MEM** – *Method Evaluation Model*: Modelo de Evaluación de Métodos.
- **TAM** – *Technology Acceptance Model*: Modelo de Aceptación de Tecnología.
- **GQM** – *Goal Question Metric*: Objetivo-Pregunta-Métrica.
- **FUP** – *Facilidad de Uso Percibida*.



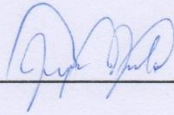
- **UP** – *Utilidad Percibida*.
- **IU** – *Intención de Uso*.
- **SPSS** – *Statistical Product and Service Solutions*: Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales.
- **SUS** – *System Usability Scale*: Escala de Usabilidad del Sistema.
- **ACM** – *Association for Computing Machinery*: Asociación de Maquinaria Computacional.
- **IEEE** – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.



Cláusula de Propiedad Intelectual

Dayana Isabel Agudo Guiracocha, autora del trabajo de titulación "Metodología para la creación de aplicaciones de realidad extendida aplicada a espacios expositivos. Caso de estudio: Museo Remigio Crespo Toral, Cuenca, Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17 de febrero de 2022



Dayana Isabel Agudo Guiracocha

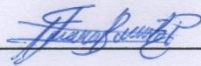
C.I: 0106589328



Cláusula de Propiedad Intelectual

Christian Fabian Barreto Paredes, autor del trabajo de titulación "Metodología para la creación de aplicaciones de realidad extendida aplicada a espacios expositivos. Caso de estudio: Museo Remigio Crespo Toral, Cuenca, Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17 de febrero de 2022



Christian Fabian Barreto Paredes

C.I: 0105277099



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Dayana Isabel Agudo Guiracocha en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Metodología para la creación de aplicaciones de realidad extendida aplicada a espacios expositivos. Caso de estudio: Museo Remigio Crespo Toral, Cuenca, Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de febrero de 2022

Dayana Isabel Agudo Guiracocha

C.I: 0106589328



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Christian Fabian Barreto Paredes en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Metodología para la creación de aplicaciones de realidad extendida aplicada a espacios expositivos. Caso de estudio: Museo Remigio Crespo Toral, Cuenca, Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de febrero de 2022

Christian Fabian Barreto Paredes

C.I: 0105277099



Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza necesaria y rodearme de las personas correctas para llegar a cumplir esta meta. A mis padres, Teresa y Oscar, por todo el esfuerzo y apoyo que me han brindado a lo largo de toda mi vida, por ustedes soy quien soy. A mis hermanos, gracias a su apoyo y a sus bromas que siempre me levantaron el ánimo y me impulsaron a seguir hacia adelante.

Agradezco también a mi mejor amigo, Christian. Por todo el esfuerzo que hemos puesto al realizar este trabajo y todo el tiempo que hemos compartido juntos para al fin conseguir nuestra meta.

A mis directores de tesis, Ing. Luis Otto Parra e Ing. María Fernanda Granda, por su apoyo, tiempo y guía a lo largo de este trabajo.

A la Universidad de Cuenca, la I. Municipalidad de Cuenca y el Museo Municipal Remigio Crespo Toral, por abrirnos sus puertas y brindarnos el apoyo necesario para culminar con éxito este trabajo. En especial, a Juan Pérez, Victoria Vicuña y David Chimbo que estuvieron siempre pendientes y prestos a ayudarnos.

Dayana Agudo G.



Agradecimiento

Al finalizar un trabajo que conlleva mucho esfuerzo y dificultades como el desarrollo del proyecto de titulación, es inevitable que como ser humano te asalte el egocentrismo, que te lleva a concentrar la mayor parte del mérito en el aporte que has hecho. Sin embargo, la magnitud del aporte hubiese sido imposible sin la ayuda o participación de personas e instituciones que han facilitado este trabajo y se llegue a un final feliz. Es por ello, que para mí es un verdadero placer expresar mis agradecimientos en este espacio.

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ayudarme a culminar este proceso final y por darme el coraje, la fuerza y la perseverancia para hacer posible uno de mis sueños.

A mi familia por el apoyo incondicional, la confianza y darme ánimo durante este proceso y poder culminar mi carrera, quiero agradecer especialmente a mis padres quienes a pesar de tener diferencias siempre estuvieron a mi lado, son las personas responsables de hacerme crecer como persona y estudiante.

A mis directores: Ing. Otto Parra y Ing. María Fernanda Granda, por el tiempo dedicado y los conocimientos brindados durante todo este proceso, ya que sin sus virtudes, aportes, paciencia y constancia en este trabajo no lo hubiese logrado en el tiempo establecido. Sin más que decir, gracias por sus orientaciones.

A la Universidad de Cuenca, a la I. Municipalidad de Cuenca y al Museo Municipal Remigio Crespo Toral, en especial a Juan Pérez, Victoria Vicuña y David Chimbo, por su importante aporte y participación en el desarrollo del trabajo de titulación, no cabe duda de que su participación ha enriquecido el trabajo realizado.

A Marco Paredes quien es mi mentor, quien con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como persona y como profesional, gracias por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

A mis amigos quienes me acompañaron a lo largo de toda o la mayoría de la ejecución de este trabajo de titulación, quiero agradecer especialmente a Dayana quien fue mi compañera en este trabajo, creo que hemos aprendido continuamente de nosotros mismos, tanto profesional como personalmente.

Christian Barreto P.



Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a Teresa y Oscar, si he tenido lo necesario para cumplir esta meta es porque ustedes me lo han enseñado, les dedico mi esfuerzo y les comparto mi alegría.

A Patricio, Edgar, Gabriel y Fernando, de cada uno de ustedes he podido aprender tantas cosas por las que estaré siempre agradecida. Cada uno de ustedes me ha dado la confianza y el respaldo que he necesitado para saber que yo puedo conseguir todo lo que quiero. Ustedes, sin decir una palabra, me han enseñado todo, su ejemplo de vida lo dice todo.

A mis sobrinos Tatiana, Oscar, Dilan, Heidy, Noelia y a quien espero, con todo el amor, conocer en los próximos meses. Ustedes son mi inspiración en cada paso que doy. Pensar en ustedes es querer hacer las cosas de la mejor manera, querer ser un buen ejemplo.

Christian, ¡lo conseguimos! Más allá de los aspectos técnicos en los que eres excelente, tu calidad humana y tu amistad son bendiciones para mí. Tú estás para cosas grandes.

Dayana Agudo G.



Dedicatoria

En primer lugar, quiero dedicar este trabajo de manera muy especial a mi abuelita Mamita Rosa, pues ella fue el principal cimiento para la construcción de mi vida como persona, fue la persona que después de mis padres se preocupaba por mí, al brindarme lo poco que tenía y enseñarme el significado de humildad y solidaridad.

Especialmente quiero dedicar este trabajo a mi mamá Laura Paredes y papá Hugo Barreto, que han hecho todo lo posible para que yo culmine mis estudios, creerán que fui un hijo desagradecido, por tantas discusiones que hemos tenido, pero no es así, siempre los tome como ejemplo, Madre eres la persona más perseverante que conozco y esa perseverancia la adopte de ti, es lo que me llevó a continuar en mis estudios cuando tuve dificultades. Padre eres la persona más trabajadora que conozco, ese ejemplo me llevó a sobresalir en el trabajo y el estudio conjuntamente.

También dedico este trabajo de titulación con gran amor a toda mi familia por el apoyo incondicional, sé que nunca fui una buena persona, tomé decisiones que no eran las correctas, pero a pesar de todo eso, ellos nunca dejaron de creer en mí, siempre me impulsaron a ser el mejor y lograr con éxito mi carrera.

Christian Barreto P.



Capítulo 1: Introducción

1.1. Motivación y contexto

El Web 2.0 trajo el desarrollo de las redes sociales y nuevos elementos de interacción que se incorporaron a los sitios Web y a los dispositivos que los soportaban. En el ámbito cultural, y específicamente en el campo de los museos, la emergencia del Internet y del Web 2.0 permitió mejorar el acceso a la información de los museos respecto a sus colecciones de obras (Alonso et al., 2019). A esto se sumó el concepto de Museo 2.0, el cual hace referencia a la evolución del museo tradicional soportada por las tecnologías de información y comunicación (Srinivasan et al., 2009). La Realidad Extendida (*XR – Extended Reality en inglés*) es un término paraguas que abarca tecnologías como la Realidad Aumentada (*AR – Augmented Reality en inglés*), Realidad Virtual (*VR – Virtual Reality en inglés*) y Realidad Mixta (*MR – Mixed Reality en inglés*) (Chuah, 2019) que están siendo muy usadas en el desarrollo de aplicaciones para lograr llevar a los museos a considerar el concepto de Museo 2.0. AR permite que el usuario pueda interactuar en un entorno que combina el mundo real y contenido digital generado por computadora, a través de un dispositivo (Cranmer et al., 2020). Por otra parte, VR permite crear un entorno completamente virtual e inmersivo, generado por computadora, con el que el usuario puede interactuar de alguna manera (Kaushal, 2019). Por su parte, MR cubre tanto AR como VR, y tiene como objetivo combinar entornos reales y virtuales de diferentes maneras (Yung & Khoo-Lattimore, 2019). En la actualidad, el uso de las tecnologías de XR se ha acoplado a actividades cotidianas como el aprendizaje, la comunicación y el ocio (Chuah, 2019; Cranmer et al., 2020), además, ha transformado el mundo de la industria en la realización de tareas como la capacitación del personal, servicio al cliente, diseño de productos, entre otras (Chuah, 2019). Debido al potencial visto en la XR, se han realizado investigaciones en varios dominios como la industria, educación, salud, juegos, ventas, ciencia y turismo (Chuah, 2019; Cranmer et al., 2020; Yung & Khoo-Lattimore, 2019).

Debido al enfoque que se va a dar al presente trabajo de titulación, específicamente nos referiremos al sector del turismo, donde existen varias investigaciones y aplicaciones desarrolladas. Como, por ejemplo, desde el año 2016, Tourism Australia (<https://www.tourism.australia.com>), cuenta con sitios web que brindan experiencias virtuales interactivas. En el mismo año, Mesároš et al., (2016), investigaron aplicaciones de AR centrándose en aquellas que utilizan teléfonos inteligentes y desarrolló la aplicación NosfeRatu, que es un juego de AR ubicado en el castillo de Orava, Eslovaquia (Yung & Khoo-Lattimore, 2019). Concretamente, en Ecuador existen varias aplicaciones de XR, entre ellas, por ejemplo, Malca et al., (2019), plantean AR-TOUR, una aplicación



móvil basada en AR que muestra en 3D los principales atractivos turísticos de la ciudad de Riobamba. También, Llerena et al., (2018), desarrollaron un prototipo de una aplicación móvil denominada AG Turismo. Esta aplicación presenta información visual y de audio sobre edificaciones y puntos turísticos geolocalizados del Malecón 2000 de la ciudad de Guayaquil. Además, Arias et al., (2018), desarrollaron una aplicación móvil basada en AR que brinda una visita guiada en el Museo Pumapungo, Cuenca.

En el sector turístico, las tecnologías de AR ofrecen beneficios tanto para los turistas como para los proveedores turísticos. Por una parte, AR permite crear mejores experiencias de usuario ya que permite presentar información valiosa, en diferentes formatos y mejora la interacción y la percepción del mundo real. También, AR apoya la necesidad de los turistas de conseguir experiencias más personales, únicas y memorables (Cranmer et al., 2020). Por otra parte, la adopción de AR en el sector turístico resulta importante para los proveedores turísticos, ya que permite asegurar la capacidad de negocio y mejorar los productos y servicios existentes. Se ha comprobado que la adopción de AR en el contexto del turismo de patrimonio cultural brinda beneficios empresariales como la seguridad de fuentes alternas de ingresos, la disminución de la estacionalidad y aumenta el número de visitas (Cranmer et al., 2020).

1.2. Planteamiento del problema

La adopción de XR en el sector turístico se dificulta ya que existen limitaciones técnicas y de rendimiento, problemas de hardware incómodo y voluminoso que implica el uso de gafas o cascos inteligentes, y costos elevados que se requieren para el desarrollo de aplicaciones XR (Chuah, 2019; Cranmer et al., 2020). Por otro lado, la crisis que enfrenta el mundo debido a la pandemia COVID-19 ha provocado un impacto negativo en la economía. A diferencia de otros sectores económicos, el sector turístico hace frente a serias dificultades para realizar sus actividades durante la pandemia debido a que cualquier restricción de movimiento de turistas tiene un efecto negativo sobre este sector (Ivasciuc, 2020). Un informe publicado por el Barómetro Mundial de Turismo de la Organización Mundial del Turismo (*UNWTO – United Nations World Tourism Organization en inglés*) (<https://www.unwto.org>) indica que en los primeros ocho meses de 2020 el sector turístico tuvo una caída del 70% en las llegadas de turistas internacionales, esto provocó pérdidas de 730.000 millones de dólares estadounidenses en los ingresos de exportación por el turismo internacional (Naciones Unidas, 2020). De acuerdo con las Naciones Unidas, (2020), la recuperación de los destinos turísticos y las empresas dependerá de varios factores, entre ellos, la capacidad de: a) Aprovechar la tecnología para comprender y dar seguimiento a las necesidades y tendencias de los viajeros. b) Crear y



comercializar experiencias innovadoras. c) Utilizar plataformas digitales para mejorar la competitividad y agilidad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (*MSMEs – Ministry of Micro, Small and Medium Enterprises en inglés*) para llegar a los clientes.

El boletín presentado por el Sistema Integral de Información Cultural (*SIIC*) de Ecuador, informa que, además de las pérdidas económicas, como efecto de la pandemia se esperan reducciones presupuestarias, el Ministerio de Cultura y Patrimonio (*MCyP*) y sus Entidades Operativas Desconcentradas (*EODs*) presentaron una reducción presupuestaria del 38,57% en el 2020. Adicionalmente, el mismo boletín plantea como estrategia de recuperación, el diseño de estrategias de comunicación, uso de nuevas tecnologías y atención en línea dirigida al público de los repositorios de la memoria social para incentivar su uso. (Sistema Integral de Información Cultural, 2021).

Actualmente, existen trabajos como el de Shukri et al., (2017), que identifican once sugerencias que apoyan el diseño y desarrollo de prototipos de aplicaciones de AR móvil para el sector turístico que ayuden a superar las dificultades mencionadas. Estas sugerencias están orientadas a reducir la sobrecarga cognitiva del turista, mejorar la capacidad de aprendizaje y considerar el contexto adecuado para proporcionar contenido relevante en la aplicación. En su trabajo, Argyriou et al., (2020), proponen un conjunto de directrices de diseño para la implementación de recorridos virtuales de vídeo 360° haciendo uso de los auriculares Oculus VR. Por su parte, tom Dieck & Jung, (2018), proponen un modelo de aceptación de la realidad aumentada en el contexto del turismo de patrimonio urbano. En la investigación se revelaron siete dimensiones que deben incorporarse a la investigación de aceptación de AR, las mismas se refieren a: la calidad de la información, la calidad del sistema, los costes de uso, las recomendaciones, la innovación personal y el riesgo, así como la facilitación de las condiciones. Siang et al., (2020), analizan las bases teóricas para desarrollar un framework para el éxito de las aplicaciones móviles de AR y la sostenibilidad de los sitios que son patrimonio de la humanidad. Los investigadores se centran en tres aspectos: a) en base al modelo de confirmación de expectativas, se analiza las relaciones entre la confirmación, la utilidad percibida, la satisfacción experiencial y la intención continua de utilizar la aplicación. b) Mediante la adaptación de la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de la Tecnología 2, examinan los determinantes de la satisfacción experiencial de los turistas y la intención continua en el uso de la aplicación. c) A través de la Teoría del Equilibrio, se analiza las relaciones entre la satisfacción experiencial de los turistas en el uso de la aplicación.

Sin embargo, los trabajos mencionados no hacen referencia de forma explícita a alguna metodología utilizada en su desarrollo. Por su parte, otros enfoques de desarrollo, como los enfoques basados en un plan y ágiles, no cubren las actividades relacionadas con la captura de datos para la



construcción de ambientes y objetos virtuales necesarios en las aplicaciones XR, lo cual representa una limitación de dichos enfoques. Desde otro punto de vista, las aplicaciones XR desarrolladas sin una metodología presentan complicaciones frente a las necesidades cambiantes y a los desarrollos tecnológicos (Poux et al., 2020). De ahí que resulta importante proponer una metodología que sea útil para la creación de aplicaciones XR, aplicadas a espacios expositivos, que permitan obtener una buena experiencia de usuario.

1.3. Solución propuesta

El enfoque ágil permite hacer frente a los requerimientos cambiantes del sistema (Sommerville, 1997), como por ejemplo la incorporación de nuevos módulos para cubrir necesidades que surgen en los espacios expositivos. Como plantean Argyriou et al., (2020), las aplicaciones XR deben considerar dos capas: diseño de la experiencia y diseño de la interacción. En este sentido, el Diseño Centrado en el Usuario (*UCD – User Center Design en inglés*), que es un enfoque que se centra en los usuarios, en sus necesidades y requisitos; y tiene como objetivo desarrollar sistemas interactivos, útiles, usables y con mejor experiencia de usuario (ISO 9241-210, 2010), resulta apropiado para este contexto.

Para el mejor conocimiento de los autores de esta propuesta, al momento no existe una metodología para la creación de aplicaciones XR que utilicen un enfoque centrado en el usuario. Por ello, el presente trabajo de titulación propone desarrollar y evaluar una metodología, tomando como referencia el enfoque ágil y el UCD, que permita la creación de este tipo de aplicaciones destinadas a espacios expositivos. Esta metodología será aplicada al desarrollo de un prototipo funcional de una aplicación web que permita el acceso virtual a las instalaciones de la Sala de Elia Liut y la Reserva Arqueológica del Museo Municipal Remigio Crespo Toral de la ciudad de Cuenca, a través de recorridos 360°. Con el fin de evaluar la usabilidad y experiencia de usuario del prototipo desarrollado con la metodología propuesta, se realizarán pruebas basadas en el usuario, en las que un grupo de usuarios del museo probarán el prototipo. Posteriormente, se aplicarán cuestionarios basados en el estándar ISO 9241-210 para medir la usabilidad y experiencia de usuario.



1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar y evaluar una metodología para la creación de aplicaciones basadas en realidad extendida, usando el diseño centrado en el usuario, con el propósito de permitir el acceso a la información de las piezas existentes en los espacios expositivos de un museo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio del estado actual de la investigación para identificar técnicas y estrategias utilizadas actualmente para el desarrollo de aplicaciones de realidad extendida para un museo.
- Plantear las etapas de la metodología para la creación de aplicaciones basadas en realidad extendida aplicadas a un museo, considerando el diseño centrado en el usuario.
- Evaluar la metodología propuesta a través de la evaluación de la experiencia de usuario y la usabilidad del prototipo desarrollado.

1.5. Metodología de investigación

La metodología utilizada en este trabajo de titulación se basa en la metodología propuesta por (Gorscheck et al., 2006). La Figura 1 muestra las actividades de la metodología.

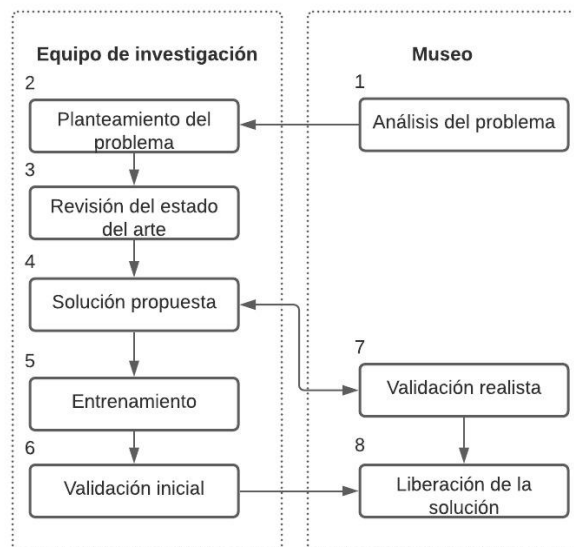


Figura 1

Actividades de la metodología de Gorscheck. Adaptada de (Gorscheck et al., 2006).



Las actividades de la metodología se describen a continuación:

1. Análisis del problema: se estructura formalmente la idea y se establecen los límites del trabajo de titulación. Para analizar el problema actual en los museos de la ciudad de Cuenca, se realizan algunas reuniones con personal del Departamento de Cultura de la Ilustre Municipalidad de Cuenca, personal del Museo Municipal Remigio Crespo Toral, y docentes y estudiantes de la Universidad de Cuenca que serán parte de este proyecto.
2. Planteamiento del problema: la adopción del concepto de Museo 2.0 se dificulta ya que las aplicaciones de XR presentan limitaciones técnicas y de rendimiento, problemas de hardware incómodo y voluminoso que implica el uso de gafas o cascos inteligentes, y costos elevados que se requieren para el desarrollo de un proyecto de XR. Las metodologías tradicionales y las metodologías ágiles no cubren las actividades relacionadas con la captura de datos necesarios para la construcción de ambientes y objetos virtuales propios de las aplicaciones de XR.
3. Revisión del estado del arte: se realiza un estudio del estado actual de la investigación para identificar investigaciones relacionadas con este trabajo de titulación y las técnicas y estrategias usadas actualmente para el desarrollo de aplicaciones de realidad extendida.
4. Solución propuesta: desarrollar y evaluar una metodología, usando el diseño centrado en el usuario, que permita la creación de aplicaciones de XR usables y con mejor experiencia de usuario, destinadas a espacios expositivos.
5. Entrenamiento: para evaluar la metodología creada en este trabajo de titulación, se plantea como caso de estudio la creación de un prototipo de una aplicación web que permita el acceso virtual a las instalaciones del museo, a través de recorridos 360°.
6. Validación inicial: se realizan pruebas de los prototipos con el grupo de investigación y representantes del museo. Adicionalmente, se planifican dos cuasi-experimentos. El primer cuasi-experimento tiene el objetivo de evaluar la metodología propuesta con respecto al rendimiento y las percepciones de los participantes al usar la metodología. Para esto, se plantean tareas que los participantes deben realizar para completar la fase de recolección de datos de la metodología propuesta. El segundo cuasi-experimento tiene el propósito de evaluar la usabilidad del prototipo desarrollado. Para ello, se crean tareas que los participantes deben realizar en la aplicación web; también, se seleccionan cuestionarios para medir la usabilidad y experiencia de usuario con respecto a la aplicación.



7. Validación realista: para el primer cuasi-experimento se escoge una muestra de 32 participantes, los mismos que realizan las tareas planteadas para la evaluación de la metodología. Para el segundo cuasi-experimento, se escoge una muestra de 22 participantes que deben realizar las tareas planteadas en la aplicación web y posteriormente se aplican los cuestionarios antes mencionados a cada participante.
8. Liberación de la solución: obteniendo los resultados de la evaluación empírica, se analiza si es posible implementar la metodología en los demás museos de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

1.6. Estructura del trabajo

A continuación, se describen brevemente los capítulos presentados a lo largo de este documento.

- Capítulo 2: Marco teórico.
Se presentan los conceptos principales que permiten tener mejor comprensión sobre el trabajo.
- Capítulo 3: Estado del arte.
En este capítulo se presentan los trabajos relacionados con el tema de tesis y una comparación con el aporte de este trabajo. También, se plantea un estado del arte sobre las técnicas o estrategias utilizadas actualmente para la creación de aplicaciones de realidad extendida.
- Capítulo 4: Metodología para el desarrollo de aplicaciones de realidad extendida.
Se describe a detalle las etapas de la metodología propuesta.
- Capítulo 5: Ejecución de la metodología en el caso de estudio.
Se presenta la creación del prototipo planteado en la sección de Objetivos, haciendo uso de la metodología propuesta.
- Capítulo 6: Evaluación de la metodología.
Se realizan dos cuasi-experimentos. El primero, se realiza con el objetivo de evaluar el rendimiento y las percepciones de los participantes al usar la metodología. El segundo cuasi-experimento se realiza con el propósito de evaluar la usabilidad del prototipo desarrollado.
- Capítulo 7: Conclusiones y trabajo futuro.
Se presentan las conclusiones obtenidas en la realización de este trabajo de titulación y se plantea el trabajo futuro.



Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Conceptos relacionados con la realidad extendida

En esta sección se presentan los conceptos necesarios para comprender de qué trata la realidad extendida.

2.1.1. Realidad virtual

La realidad virtual es una tecnología que tiene como objetivo hacer posible una actividad sensorial y cognitiva para una persona en un entorno ficticio creado digitalmente. Dicho entorno puede ser imaginario, simbólico o una simulación del mundo real (Fuchs, 2011). La VR hace posible que los usuarios se sumerjan en un mundo virtual y obtengan la sensación de “estar allí” (Chuah, 2019). Los sistemas VR se componen de dos elementos principales que son factores determinantes de cómo los usuarios ven, navegan, interactúan y experimentan entornos simulados, estos elementos son: i) hardware, que incluye tanto dispositivos de entrada, tales como el control y el seguimiento de posición, como dispositivos de salida, entre ellos los sistemas visuales, auditivos, olfativos, hápticos y kinestésicos. ii) Software, como herramientas de diseño y Kits de Desarrollo de Software (*SDK – Software Development Kit en inglés*) especializados en este tipo de tecnología, tales como Unity 3D, AutoDesk 3DS Max y OpenGL.

Según Rodríguez & Díaz, (2017), existen dos tipos de VR, los cuales son: i) VR inmersiva: la cual utiliza entornos tridimensionales generados por computadora en los cuales el usuario está aislado del mundo real. Para manipular estos entornos se utilizan dispositivos especiales. ii) VR no inmersiva: utiliza entornos tridimensionales generados por computadora, pero el usuario no está aislado del mundo real.

Un tipo de VR no inmersiva es el recorrido virtual 360° que consiste en aplicaciones que permiten explorar un mundo real o ficticio de forma virtual brindando a los usuarios la sensación de estar presente en dicho lugar (Rodríguez & Díaz, 2017). En este trabajo de titulación se hará uso de VR no inmersiva para la creación de un prototipo de una aplicación web que usa un recorrido 360° para permitir el acceso a las instalaciones de un museo.

2.1.2. Realidad aumentada

La realidad aumentada es una tecnología que permite a los usuarios ver el mundo real con información digital superpuesta en su campo de visión, utilizando dispositivos inteligentes (Chuah, 2019). AR también permite que el usuario pueda interactuar en un entorno que combina el mundo



real y contenido digital generado por computadora, a través de un dispositivo (Cranmer et al., 2020). Para usar esta tecnología son necesarios tres componentes principales, los cuales son: i) un dispositivo con cámara que puede ser un teléfono inteligente, tableta o un computador con cámara web. ii) Un software intermediario que permite visualizar el contenido digital en el mundo real. iii) Un disparador o activador del contenido digital que puede ser una imagen, marcador, código QR, entre otros.

Según Blázquez, (2017), existen dos tipos de AR: i) AR geolocalizada, que identifica la posición del dispositivo a través de sensores, tales como: a) GPS: indica las coordenadas del dispositivo, b) brújula: indica la orientación de la cámara del dispositivo, c) acelerómetro: identifica la orientación y ángulo del dispositivo. ii) AR basada en marcadores, que usa como activador un marcador. Dichos marcadores pueden clasificarse en tres grupos, los cuales son: a) códigos QR: se representan con formas geométricas en blanco y negro que almacenan información, b) Seguimiento de Características Naturales Sin Marcadores (*Markerless NFT – Markerless Natural Feature Tracking en inglés*): son imágenes u objetos reales, c) marcadores: generalmente, tienen formas geométricas, enmarcadas en un cuadrado, en blanco y negro.

2.2. Procesos de desarrollo de software

Existen diferentes tipos de sistemas de software que requieren de procesos de desarrollo distintos. Aun así, existen cuatro actividades fundamentales que son comunes a todos los procesos de software (Sommerville, 1997), dichas actividades son: i) especificación del software, donde se define la funcionalidad y las restricciones de operación del software. ii) Diseño e implementación del software, donde se desarrolla el software para cumplir con las especificaciones. iii) Validación del software, para asegurar que sea lo que el cliente requiere. iv) Evolución del software, para satisfacer los requerimientos cambiantes del cliente (Sommerville, 1997). Estas actividades se pueden organizar y adaptar de diferentes maneras, dependiendo del software que se desarrolla. A más de estas actividades, los procesos de software deben incluir los siguientes tres elementos: i) productos, que son los resultados de una actividad del proceso de desarrollo. ii) Roles, que reflejan las responsabilidades de las personas que intervienen en el proceso. iii) Precondiciones y post-

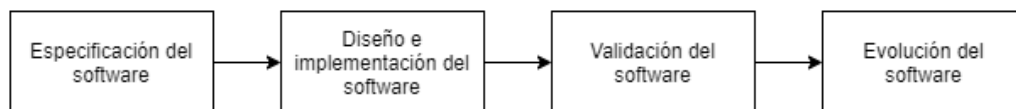


Figura 2

Actividades fundamentales del desarrollo de software. Fuente: Autores (2021)



condiciones, que son declaraciones válidas antes y después de que se realice una actividad del proceso o se cree un producto (Sommerville, 1997).

La elección de un proceso de software depende de las características propias del sistema que se desarrolla. Generalmente, se consideran dos tipos de procesos: i) procesos dirigidos por un plan, en los que las actividades del proceso se planean de forma anticipada y el avance se mide contra dicho plan. ii) Procesos ágiles, en los que la planeación es incremental y resulta más fácil modificar el proceso para reflejar los requerimientos cambiantes del cliente (Sommerville, 1997). No existe un proceso ideal, por lo que, usualmente, se combinan los procesos dirigidos por un plan y procesos ágiles para el desarrollo de software.

2.2.1. Desarrollo ágil del software

En la actualidad, los negocios se desenvuelven en un entorno cambiante, por lo cual, los requerimientos de los sistemas de software pueden estar en constante cambio, el mismo que se debe reflejar en el diseño e implementación del software. Debido a esto, el desarrollo basado en un plan puede presentar retrasos en la entrega del software (Sommerville, 1997). Los procesos ágiles de desarrollo de software tienen el objetivo de producir software útil de forma rápida. Para esto, el software se desarrolla como una serie de incrementos en la cual cada incremento incorpora una nueva funcionalidad del sistema.

Los métodos ágiles son métodos de desarrollo de software con un enfoque incremental que resultan adecuados para el diseño de aplicaciones con requerimientos cambiantes. Tienen el propósito de entregar el software de forma rápida a los clientes, los mismos que son incluidos en el proceso de desarrollo de manera que puedan brindar retroalimentación sobre los cambios necesarios en el sistema. Los métodos ágiles se basan en cinco principios: i) la participación del cliente en el proceso de desarrollo, ii) el software se desarrolla en incrementos, iii) deben reconocerse y aprovecharse las habilidades del equipo de desarrollo, iv) se debe diseñar el sistema para adaptar los cambios a medida que surgen, v) se trata de mantener la simplicidad del software y el proceso de desarrollo (Sommerville, 1997).

2.3. Diseño centrado en el usuario

El UCD es un enfoque multidisciplinar para el desarrollo de productos basados en las características y necesidades del usuario. El objetivo del UCD es entender de mejor manera al usuario final, permitiendo diseñar, evaluar y mejorar la propuesta de diseño, en cada una de las etapas del diseño, con el propósito de crear productos útiles y usables (Trujillo et al., 2016). El UCD no es una

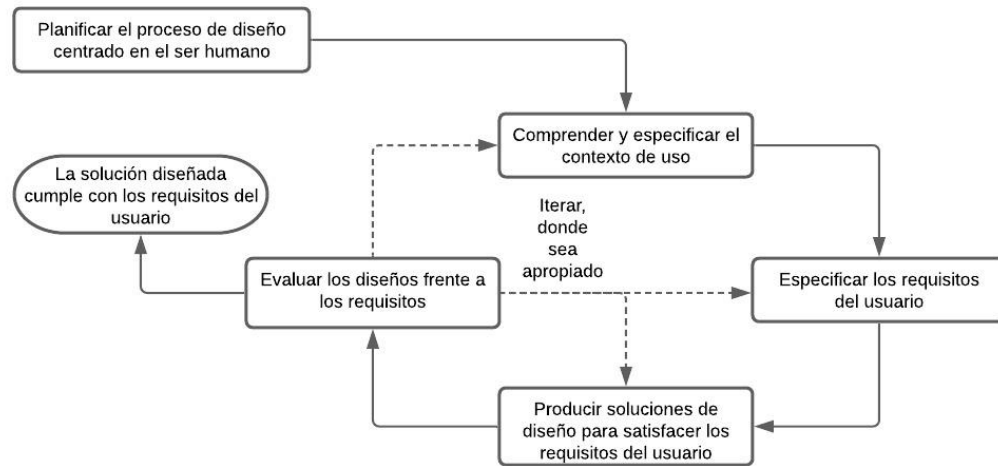


metodología sino un enfoque de diseño con buenas prácticas, lo suficientemente generales para ser aplicadas en cualquier desarrollo de productos de software. Por otra parte, Garreta & Mor, (2017), indican que el UCD se puede entender como una metodología de desarrollo, como una forma de planificar los proyectos o como un conjunto de métodos que se pueden utilizar en las principales fases del proyecto.

El UCD se basa en un modelo de procesos que se divide en cuatro fases: i) investigación y análisis de los usuarios, permite recolectar los requerimientos del usuario. ii) Contexto del uso, se basa en la observación del usuario en su contexto natural. iii) Diseño conceptual, crea alternativas satisfactorias, utilizando herramientas de creación de prototipos. iv) Evaluación, permite a los desarrolladores del producto evaluar y seleccionar la mejor opción de diseño, elimina fallas de usabilidad, reitera el diseño y mejora la experiencia de usuario (Garreta & Mor, 2017).

El estándar ISO 9241, (2010), proporciona requisitos y recomendaciones para los principios y actividades de UCD a lo largo del ciclo de vida de los sistemas interactivos. Este estándar está destinado a ser utilizado por quienes gestionan los procesos de diseño, también, se ocupa de las formas en que los componentes de hardware y de software de los sistemas interactivos pueden mejorar la interacción entre el usuario y el sistema. Este estándar proporciona seis principios básicos para el UCD: i) el diseño se basa en una comprensión explícita de los usuarios, las tareas y los entornos, ii) los usuarios participan en todo el diseño y desarrollo, iii) el diseño es impulsado y refinado por una evaluación centrada en el usuario, iv) el proceso es iterativo, v) el diseño aborda toda la experiencia del usuario y vi) el equipo de diseño incluye habilidades y perspectivas multidisciplinarias.

El principal ciclo de trabajo del proceso de desarrollo de un producto está constituido por cuatro actividades del UCD durante el diseño de cualquier sistema interactivo. Estas actividades se muestran en la Figura 3.

**Figura 3**

Interdependencia de las actividades de UCD. Adaptada de (ISO 9241, 2010)

A continuación, se describen las actividades del UCD, las cuales son: i) comprender y especificar el contexto de uso: en esta actividad se identifican los usuarios que van a utilizar el producto, para qué lo usarán y en qué condiciones lo utilizarán. ii) Especificar los requisitos del usuario; aquí, se identifican las necesidades y objetivos de los usuarios. iii) Crear soluciones de diseño: se crean soluciones a partir de la información recolectada en las dos actividades anteriores. iv) Evaluar el diseño: si la evaluación satisface los requerimientos, el proceso termina de lo contrario se repite desde la primera etapa.

2.4. Desarrollo ágil y UCD

El enfoque ágil permite hacer frente a los requerimientos cambiantes del sistema (Sommerville, 1997) e incluye aspectos como la aproximación al usuario a partir de la entrega incremental de software y el refinamiento del mismo, a través de la retroalimentación de los usuarios (Garreta & Mor, 2017). Por su parte, el UCD necesita iteración con los usuarios en cada una de las etapas de desarrollo para la obtención de sistemas útiles, usables y con mejor experiencia de usuario. Esta característica iterativa es compartida tanto por el enfoque ágil como por el UCD, sin embargo, las metodologías ágiles no integran el análisis de los usuarios en sus procesos (Garreta & Mor, 2017). Como afirman Garreta & Mor, (2017), combinar estos dos enfoques es posible y positivo. Es por eso, que este trabajo de titulación toma como base el enfoque ágil y el UCD para la creación de una metodología para aplicaciones XR.



2.5. Usabilidad

La usabilidad se define como un atributo cualitativo, que permite determinar qué tan fácil es usar un producto por determinados usuarios, estableciendo: i) objetivos de uso y ii) una relación de uso-esfuerzo (Trujillo et al., 2016). La usabilidad es una cualidad abstracta que no se puede medir directamente, para poder estudiar la usabilidad Ferre, (2000) describe cinco atributos básicos propuestos por Nielsen, (1994): i) facilidad de aprendizaje: que tan fácil es aprender la funcionalidad del sistema, para realizar las tareas que desea el usuario. ii) Eficiencia: cuál es el número de iteraciones por unidad de tiempo que puede realizar el usuario al utilizar el sistema, lo que se busca es realizar las tareas con mayor velocidad. iii) Recuerdo en el tiempo: capacidad de utilizar el sistema sin tener que aprender cada funcionalidad partiendo desde cero. iv) Tasa de errores: se refiere al número de errores que realiza el usuario en una determinada tarea. v) Satisfacción: muestra la percepción, valoración y emoción que el usuario obtiene al momento de utilizar el sistema.

2.5.1. Pruebas de usabilidad

La prueba de un sistema de software consiste en la verificación del comportamiento del producto a partir de un conjunto de casos de prueba que se ejecutan con el fin de comprobar que se cumplan los requerimientos del cliente (Prieto et al., 2014). Prieto et al., (2014) mencionan seis niveles de pruebas, las cuales son: i) unitarias, ii) de integración, iii) de sistema, iv) de liberación, v) de aceptación y vi) de regresión. De estos niveles, son las pruebas del sistema las que consideran la usabilidad de un producto.

Las pruebas de usabilidad son una forma de medir la satisfacción del cliente. Según la ISO 9241, (2010), las pruebas de usabilidad tienen como objetivo evaluar la usabilidad de una aplicación en un entorno real con usuarios reales. Para ello, existen técnicas como las que se describen a continuación:

2.5.1.1. Entrevistas individuales

Se basan en conversaciones con un usuario a la vez, ya sea en persona, por teléfono, mensajería instantánea o algún medio asistido por computador. Con estas entrevistas se puede obtener una comprensión más profunda de las actitudes, creencias, deseos y experiencias de los usuarios (Prieto et al., 2014).



2.5.1.2. Revisión informal de expertos

Este método consiste en recurrir a un diseñador o experto en usabilidad, para que evalúe el producto en desarrollo. Tal experto identifica los problemas de diseño y realiza las recomendaciones respectivas. Este método es rentable, pero, debido a que se trata de la percepción de una sola persona puede no ser objetivo. Es por eso, que se debe apoyar con un grupo de discusión, observación de contextos de uso o entrevistas (Trujillo et al., 2016).

2.5.1.3. Evaluación heurística

Este es un método de inspección de usabilidad que determina los problemas en la interfaz de usuario (Prieto et al., 2014). La evaluación del producto consiste en que uno o más evaluadores, de preferencia expertos, que no tengan relación previa con el proyecto (Trujillo et al., 2016) hagan uso del sistema (interfaces de usuario). Se examina la conformidad de los evaluadores con una lista de principios preestablecidos denominados heurísticas. Las “reglas de oro” de Nielsen son algunas de las heurísticas comúnmente usadas (Prieto et al., 2014; Trujillo et al., 2016).

2.5.1.4. Encuestas

Permiten obtener información a través de una serie de preguntas aplicadas a una muestra representativa. De esta manera es posible validar preconceptos o evidenciar características comunes. Actualmente, las encuestas pueden ser aplicadas a través de la web, por lo que es posible aumentar el tamaño de la muestra (Trujillo et al., 2016). Las encuestas se pueden llevar a cabo en cualquier etapa del proceso de desarrollo (Prieto et al., 2014). En la etapa de carácter formativo permiten entender quién es el usuario y sus características como, por ejemplo: demografía, edad, género, ocupación, entre otras. Mientras que, en una etapa acumulativa, las encuestas son útiles para identificar las preferencias de un grupo de usuarios frente al producto de software.



Capítulo 3: Estado del arte

3.1. Trabajos relacionados

En este capítulo se analizan los trabajos relacionados más relevantes sobre los métodos utilizados para la creación de aplicaciones de realidad extendida en espacios expositivos. Se requiere investigar las metodologías existentes para el diseño e implementación de aplicaciones XR en espacios expositivos. Para ello, se recopilan trabajos relacionados que corresponden a los últimos seis años (2015-2021). Estos trabajos se describen a continuación.

Shukri et al., (2017), desarrollan directrices de diseño para la Realidad Aumentada Móvil (*MAR – Mobile Augmented Reality en inglés*). Para ello, identifican cuatro variables que los principios de diseño deben considerar: i) el contexto: para asegurar que la información presentada sea clara y que los usuarios entiendan la función, los menús y el diseño operativo de la interfaz de usuario. ii) Reducción de la sobrecarga cognitiva: con el fin de lograr que el usuario se centre en la tarea en lugar de la información. 3) Capacidad de aprendizaje: que brinda al usuario la facilidad de aprender durante el uso de la aplicación sin la necesidad de repetir un tutorial muchas veces. iv) La interacción: que requiere de un diseño de interacción 3D natural en los dispositivos móviles. A partir de estas variables, plantean once directrices de diseño, destinadas al diseño de las interfaces de usuario, que se basan en los principios de Interacción Humano Computador (*HCI – Human Computer Interaction en inglés*) y usabilidad.

Capuano et al., (2016), definen una metodología que combina AR con técnicas semánticas para la creación de historias digitales asociadas a exposiciones virtuales en museos. La metodología se basa en la Teoría de la Reposición Cultural y usa ontologías para modelar un recurso cultural y correlacionarlo con objetos y recursos multimedia externos. Para ello, se plantean dos escenarios: i) escenario conceptual, que presenta el conocimiento sobre un recurso cultural con base en el conocimiento específico, como las preferencias personales, los antecedentes, el entorno y el contexto del usuario. ii) Escenario re-mediado, que permite agregar un nuevo significado al recurso cultural, proporcionando contenido adicional sobre recursos similares (mediante tecnologías semánticas y reglas de inferencia) o conocimiento disímil (que provee contenido sobre datos no culturales, como entradas a blogs, videos relacionados, redes sociales, etc.)

Caputo et al., (2016), plantean directrices y algunas soluciones para una experiencia de museo virtual optimizada. Sobre la base de que el éxito de los museos virtuales depende del desarrollo de técnicas de interacción eficaces que permitan una exploración natural y rápida de sus contenidos, se plantean dos grupos de técnicas de interacción gestual. El primer grupo se refiere a la visualización



de la interacción, aquí se definen cuatro técnicas: i) mostrar botones, ii) deslizar rápidamente, iii) selección de objetos, iv) recolección de objetos. El segundo grupo se refiere a la navegación del entorno, para ello se considera el escenario en el que múltiples objetos son accesibles en el museo. Se definen cuatro técnicas de navegación: i) rotación de la palma, ii) posición de la palma, iii) botón adelante, iv) control móvil. En este trabajo se usa una Pantalla Montada en la Cabeza (*HMD – Head Mount Display en inglés*) y un rastreador de mano. Después de las pruebas realizadas, se obtiene como resultado lo siguiente: en cuanto a la tarea de visualización, el mejor tiempo viene de la técnica de deslizar rápidamente y en cuanto a la tarea de navegación, el mejor tiempo de finalización proviene de la técnica de botón adelante.

Hajirasouli et al., (2021), desarrollaron un framework integrado digitalmente utilizando tecnología VR para documentar digitalmente y crear un entorno simulado de los sitios patrimoniales en peligro de extinción. El framework coloca a los usuarios en una experiencia del mundo real mientras observan los cambios ocurridos a lo largo del tiempo. El trabajo se lleva a cabo en tres etapas: i) Documentación: se recomienda recopilar información dos o más veces en un periodo de un año o más. Los datos recogidos no necesariamente son idénticos, pero deben ser comparables. En esta etapa es necesario establecer un protocolo de recolección de datos que incluye dos aspectos: a) métodos: entrevistas, encuestas y observación, b) instrumentos: fotografía, grabaciones y revisiones de documentos. ii) Procesamiento de datos y modelado: el nivel de precisión necesario en el modelado se relaciona con el objeto, su tamaño y su propósito. Además, se pueden agregar y modificar factores como la textura, material, color, entre otros, para obtener modelos deseables y realistas. iii) Implementación y presentación de contenido: en esta etapa la información adquirida se transforma a dibujos 2D, con estos resultados se crea un modelo 3D. Además, se consideran aspectos relacionados con la fácil orientación y libertad de vista.

Hammady et al., (2018), desarrollaron un método de investigación para evaluar la Experiencia de Usuario (*UX – User Experience en inglés*) y la usabilidad de la aplicación. Para ello, plantean un proceso de diseño para UX que consta de tres fases: i) Fase de requisitos: en esta fase se obtiene información, habilidades y datos (como modelos 3D, comentarios de audio, imágenes relevantes y texto explicativo). En la obtención de requisitos se debe considerar los objetivos del sistema y aspectos prácticos sobre la construcción del sistema, como la fácil orientación e información visual relevante. ii) Fase de diseño para UX: inicia con la comprensión del contexto en el que se utilizará para construir un sistema específicamente para dicho contexto. Esto se consigue a través de un estudio exploratorio en el que se explora el museo y se habla con los visitantes. Posteriormente, se diseña la Interfaz Gráfica de Usuario (*GUI – Graphical User Interface en inglés*), se crea un



prototipo funcional y se realizan pruebas del prototipo, este es un proceso iterativo en el que se refina la GUI y las funcionalidades del sistema. iii) Fase de evaluación: en esta fase participan tanto visitantes como expertos en la materia y se recomienda seguir una metodología de evaluación.

Hammady et al., (2020), se basan en la teoría de la inmersión y la presencia para crear una guía turística con el propósito de mejorar la experiencia del museo. La construcción del sistema se realiza en cinco fases:

- i) Estudio preliminar: se basan en la revisión de la literatura y la observación del visitante para reconocer patrones de comportamiento que permitan entender cómo el usuario percibe el entorno.
- ii) Diseño de la estructura del sistema: el trabajo considera algunas funciones inmersivas, tales como: a) comunicación visual, que conecta los sentidos del visitante con el sistema, b) orientación, que consiste en señales que ayudan y guían al visitante, c) interacción, que se enfoca en los gestos usados para interactuar con el sistema, y d) la comunicación entre el visitante y el guía virtual. La guía diseñada debe ser coherente y tener una narración organizada y progresiva. Además, debe considerar que el usuario puede cambiar la secuencia o saltar de una estación a otra.
- iii) Estructura del contenido visual: en esta fase se diseña el contenido 3D, la interfaz de usuario, diseño del contenido espacial y el panel de interfaz de usuario.
- iv) Proceso de desarrollo.
- v) Evaluación del sistema.

Barbieri et al., (2018), describen un enfoque de UCD para el desarrollo de una exposición de VR para la explotación interactiva de artefactos arqueológicos. Plantean cuatro etapas para la construcción de sistemas interactivos VR, las cuales son:

- i) Selección de tecnologías: que debe considerar requisitos ergonómicos como el sistema visual humano, limitaciones tecnológicas y limitaciones visuales.
- ii) Selección de la arquitectura: generalmente, se considera una arquitectura de bajo costo, la arquitectura comúnmente usada consiste en monitores para la visualización y controladores de dispositivos para la interacción.
- iii) Diseño de la interfaz de usuario: en donde se da prioridad a cuestiones relacionadas a los elementos gráficos, como los colores y las dimensiones de los botones y controles, y la disposición de los menús para permitir una navegación sencilla.
- iv) Evaluación del sistema: al evaluar la usabilidad de los sistemas interactivos se analiza el rendimiento humano en cuanto al uso del sistema.

Damala et al., (2019), proponen un framework integral, denominado MUSETECH, para evaluar la tecnología de museos antes y después de su introducción en un entorno museístico. Como se muestra en la Figura 4, MUSETECH se visualiza como una rueda con la tecnología en su núcleo. Alrededor de esto, se agregó un anillo dividido en tres partes correspondientes a tres perspectivas: profesional del patrimonio cultural, museo y visitante. Se identificaron cuatro componentes en la tecnología de museos (cuartiles), que son: diseño, contenido, operación y cumplimiento. También, se determinaron criterios de evaluación que fueron clasificados en uno o más cuartiles, formando así, clústeres de criterios de evaluación. Este framework se puede utilizar como una herramienta para la reflexión antes, durante y después de la introducción de nuevos recursos de medios digitales.

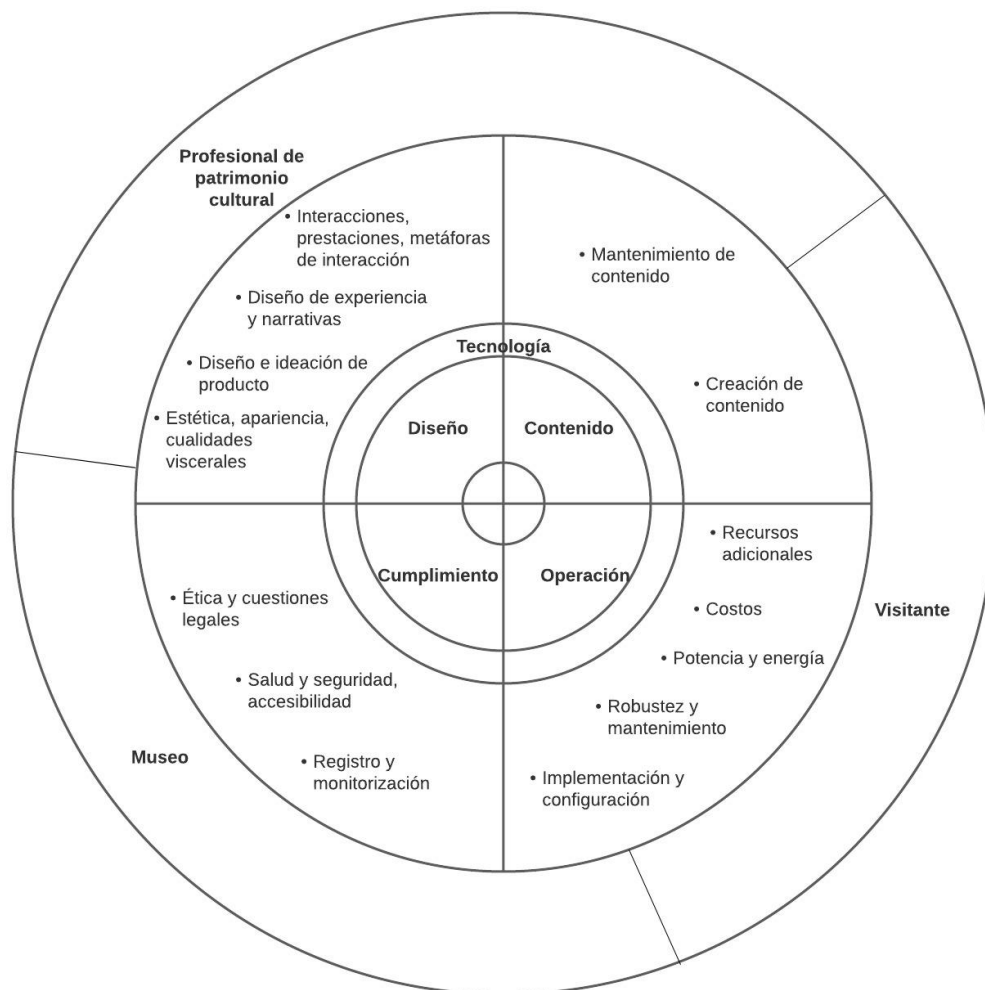


Figura 4

Framework MUSETECH. Adaptada de (Damala et al., 2019)



Rodrigues et al., (2017), contribuyeron con: i) un framework inicial para una aplicación de museo donde la AR y la gamificación están conectadas con una interfaz de usuario adaptable, ii) una implementación de tarjeta adaptable para realizar la interfaz de usuario: presentan la arquitectura para crear la interfaz de usuario basada en tarjetas en tiempo de ejecución; y iii) una implementación inicial de reconocimiento rápido de objetos para los marcadores utilizados para la AR: se centran en la detección, reconocimiento y seguimiento de objetos, con el propósito de llamar a la vista de la tarjeta respectiva.

Sidyawati et al., (2019), desarrollaron una aplicación de máscaras de tribus indígenas de Malasia denominada “Nusantara Mask Heritage Malaysia” (NUSMARI MALAYSIA) basada en AR como medios educativos para los visitantes que desean obtener información sobre las máscaras. El resultado de este desarrollo es una aplicación de medios de aprendizaje que puede ayudar a los turistas de todas las edades a aprender de una forma fácil las máscaras de Orang Asli Malasia en los museos. Este trabajo utiliza el modelo de desarrollo de Borg & Gall que contiene diez etapas en la implementación de una estrategia de investigación y desarrollo. Teniendo en cuenta la limitación de tiempo, en este estudio, los investigadores lo simplifican en cuatro pasos:

- i) Investigación y recopilación de información: se realizó observaciones en el campo, para la recopilación de datos, para identificar los problemas que existen en el museo como base para seleccionar soluciones a los problemas que enfrentan los visitantes.
- ii) Planificación: reúne varios pasos de trabajo y soluciones alternativas si hay problemas en la preparación de la aplicación, para encontrar una solución a los problemas que se producen.
- iii) Desarrollo del producto, en forma preliminar: se realiza la creación del diseño de la aplicación, el desarrollo de la aplicación AR, organizan un conjunto de instrumentos de validación que serán llenados por validadores expertos y realizan la validación con validadores expertos en medios, diseñador de comunicación visual, validador experto en gramática y validador de contenido de material.
- iv) Revisión del producto final: la entrada final de los validadores se utiliza para crear un producto terminado y listo para usar.

Poux et al., (2020), proponen un diseño de producto centrado en el usuario para crear una aplicación VR específicamente destinada a fines multimodales. Se aplica al castillo de Jehay de Bélgica. Para este proyecto los autores se basan en métodos de diseño utilizados en la ciencia de la información geográfica, que a su vez se derivan de los métodos desarrollados en la ciencia de la información. El enfoque seguido fue un prototipado centrado en el usuario. Esta elección fue dictada



principalmente por los plazos ajustados y las restricciones de implementación ágiles / iterativas que tal diseño alivia a través de una producción rápida de una solución de trabajo. Se propone una metodología que consta de cuatro pasos:

- i) Análisis de necesidades: se toma nota de los elementos previstos, se trata de contextualizar el proyecto y analizar las expectativas para darle un marco al proyecto. Después, se orienta hacia los requisitos de necesidad del usuario y la recopilación de los requisitos técnicos, para finalmente enumerar las operaciones funcionales y priorizarlas para responder a la mejor de las restricciones.
- ii) Adquisición de datos: se utilizan varios métodos de captura de la realidad para la adquisición de datos.
- iii) Selección de componentes: indica qué componentes se van a utilizar en el prototipo.
- iv) Diseño de aplicaciones VR: basado en el análisis de necesidades, se propone la metodología para el diseño de una aplicación VR. Amplía el diagrama de datos del entorno VR y lo integra en el diseño de la aplicación VR.

Marasco & Balbi, (2019), aplican una metodología centrada en el usuario para el diseño de experiencias turísticas patrimoniales accesibles a través de la VR, con un enfoque en los visitantes con discapacidades de movilidad. Basándose en la norma ISO 9241-210:2010, los autores proponen las siguientes tres etapas:

- i) Identificación de los elementos centrales de la experiencia patrimonial accesible con VR: estos elementos se manifestaron como necesidades de apoyo y sugerencias de los participantes sobre cómo usar la VR y se enmarcan en una perspectiva de viaje de los visitantes para informar mejor el diseño y la innovación de la experiencia de servicio.
- ii) Identificación de grupos objetivo y desarrollo de personas: permite obtener características del perfil de los principales grupos destinatarios de la experiencia habilitada para la VR en relación con las necesidades de accesibilidad, el compromiso con el patrimonio cultural, la actitud y el uso de tecnologías en el turismo, incluida la VR.
- iii) Desarrollo de escenarios: se desarrollan escenarios según las características que presentan los grupos de personas identificadas en la sección anterior.

Kauhanen et al., (2017), exploran cómo diseñar una biografía de un artista finlandés como una experiencia de VR. Llevaron a cabo un proceso de desarrollo asistido por métodos de diseño de UX. El trabajo se abarca en dos etapas:



- i) Proceso de diseño y desarrollo de un prototipo de investigación: se discute el proceso de diseño y desarrollo que resulta en un prototipo de investigación para probar la idea central del concepto. Esta etapa abarca dos procesos: a) proceso de diseño para un concepto: se aplican métodos de co-creación en la primera etapa del diseño en forma de taller. Esto permitió recibir aportaciones de todas las partes interesadas en una etapa temprana. Después, se analizaron los hallazgos del taller, los conceptos se consolidaron en ideas conceptuales. Finalmente, se realiza un prototipo de prueba de concepto de bajo nivel, para encontrar problemas, examinar los aspectos y necesidades experienciales. b) Proceso de prototipado: se implementa el prototipo de trabajo.
- ii) Estudio del usuario del primer prototipo: el objetivo es averiguar qué cambios y adiciones deberán implementarse para mejorar holísticamente la experiencia de los usuarios.

Pittarello, (2019), describe una metodología para la creación de experiencias de AR para exposiciones artísticas, dirigida a diseñadores con habilidades limitadas en ciencias de la computación. También, describe cómo diseñar una experiencia suave y coherente para los visitantes, a pesar de las limitaciones de los entornos de autoría actuales, proporcionando un impacto cognitivo y emocional sin abrumar el concepto original de la exposición. La metodología consta de las siguientes cinco etapas: i) diseño del folleto con instrucciones de instalación de la aplicación y probar una vista AR, ii) diseño del poster con instrucciones de instalación de la aplicación y el inicio de la experiencia, iii) diseño de la estructura de la información, iv) diseño conceptual de vistas AR emocionales y v) diseño de la encuesta post experiencial.

Koo et al., (2019), discuten el diseño, desarrollo y evaluación de una aplicación móvil basada en AR para una guía turística. Para el diseño de la aplicación se tienen los siguientes pasos:

- i) Selección del sitio: se introducen múltiples elementos relacionados con los puntos de interés para lograr las características específicas del lugar con los componentes de AR.
- ii) Selección de los temas de interés para la aplicación.
- iii) Modo de navegación: para lograr un rendimiento aceptable en el entorno de caminata al aire libre con la consideración de atractivo visual, se ha desarrollado un módulo de navegación separado con una nueva interfaz de usuario.
- iv) Modo de escaneo: describe los métodos para el reconocimiento de objetos en la aplicación, la aplicación utiliza el método sin marcadores.



- v) Modo de juego: se insertan juegos de AR para que los usuarios puedan revisar y solidificar lo que vieron y aprendieron de los comentarios. Para la evaluación se emplearon cuatro de cada diez constructos sugeridos por Hoehle et al., estos constructos son: atractivo visual, obviedad de control, punto de entrada y transición.

Walmsley & Kersten, (2020), describen el desarrollo de una aplicación de VR inmersiva para la Catedral Imperial en Königslutter, Alemania. El proyecto se dividió en cinco fases.

- i) En la primera fase se tienen tres pasos: adquisición de datos por escaneo láser terrestre, registro y georreferenciación de escaneos, y segmentación de nubes de puntos en mosaicos de objetos.
- ii) La segunda fase consta de dos pasos: modelado sólido 3D utilizando nubes de puntos segmentadas y generación de imágenes panorámicas.
- iii) La tercera fase se refiere al mapeo de texturas de modelos poligonales.
- iv) En la cuarta fase se plantean tres pasos: colocación de mallas y construcción de la escena dentro de un motor de juego, integración de control de movimiento e interacciones, e integración de imágenes panorámicas 360°.
- v) Finalmente, la quinta fase propone la visualización inmersiva e interactiva de la catedral en un software de VR.

Bernik et al., (2019), presentan un método para devolver los artefactos perdidos de un museo a los ojos del público, mediante el uso de AR de una manera simple e intuitiva, así como un modelo para archivar la existencia de formas 2D o 3D. El documento presenta un enfoque metodológico que se introduce en tres fases. La primera fase, consiste en la reconstrucción de pintura. La segunda fase, se basa en la selección de marcadores a partir de varias reglas o normas que presentan los autores. Mientras que, la tercera fase, se basa en la creación de la propia aplicación AR.

Nummenmaa et al., (2021), presentan el método Space Pace, para la creación de visitas guiadas basadas en video que emplean contenido de video 360° y producen la sensación de AR. El método se concibió originalmente en un taller de diseño y se desarrolló aún más para que se pudiera crear una experiencia de prueba para evaluar con los usuarios. Los objetivos iniciales del taller consistieron en utilizar un conocido centro cultural como banco de pruebas, para crear aplicaciones AR específicas para diferentes formas de interactuar con la historia y el ambiente sociocultural del lugar. Se eligieron tres métodos básicos para ser utilizados en el taller: el body-storming, la recreación y el boceto de la experiencia de usuario. Estos métodos fueron seleccionados ya que los participantes ya estaban familiarizados con ellos. Además de estos métodos, se utilizó la lluvia de ideas con estímulos de video y tarjetas VSA (*Verb Subject Adjective*) y tarjetas PLEX (*Playful Experiences*).



Se creó un prototipo de baja tecnología para explorar la idea y probar suposiciones para crear prototipos presentables. Después, se creó una versión más desarrollada, un paseo de vídeo 360°. Esta aplicación piloto de Space Pace fue evaluada en una prueba de usuario. Esta evaluación sirvió entonces de base para elaborar directrices sobre el método Space Pace. Las directrices planteadas se clasifican en tres grupos: esenciales, recomendaciones y consideraciones.

Los trabajos relacionados ocupan diferentes enfoques, tales como: metodologías, métodos, directrices de diseño y frameworks que proponen diversas etapas, fases e ideas descritas en la Tabla 1.

Tabla 1*Resumen de trabajos relacionados*

Referencia	Enfoque	Caso de estudio	Fases/Etapas/Ideas principales	UCD
Shukri et al., (2017)	Directrices de diseño	de Turismo Malasia en	Cuatro variables principales: 1. Contexto 2. Reducir la sobrecarga cognitiva 3. Capacidad de aprendizaje 4. Interacción 3D	NO
Capuano et al., (2016)	Metodología	Exposición de museo relacionada con la pintura flamenca	Dos escenarios: 1. Escenario conceptual 2. Escenario re-mediado	NO
Caputo et al., (2016)	Directrices	---	Técnicas de interacción: 1. Visualización de la información 2. Navegación del entorno	NO
Hajirasouli et al., (2021)	Framework	Comunidad Kandovan	Tres etapas: 1. Documentación 2. Procesamiento de datos y modelado 3. Implementación y presentación de contenido	NO
Hammady et al., (2018)	Método	Proyecto MuseumEye	Tres fases: 1. Fase de requisitos 2. Fase de diseño para UX 3. Fase de evaluación	NO



Hammady et al., (2020)	Directrices diseño	de	Museo Egipcio	Construcción del sistema en cinco etapas: 1. Estudio preliminar 2. Diseño de la estructura del sistema 3. Estructura del contenido visual 4. Proceso de desarrollo 5. Evaluación del sistema	NO
Barbieri et al., (2018)	Directrices diseño	de	Museo de los Brutianos y el Mar	Cuatro etapas: 1. Selección de tecnologías 2. Selección de arquitectura 3. Diseño de UI 4. Evaluación del sistema	SI
Damala et al., (2019)	Framework	---	---	Tres perspectivas: 1. Profesional de patrimonio cultural 2. Museo 3. Visitante Cuatro componentes tecnológicos: 1. Diseño 2. Contenido 3. Operación 4. Cumplimiento	NO
Rodrigues et al., (2017)	Framework	---	---	Dos fases: 1. Implementación de tarjeta adaptable 2. Detección y seguimiento rápidos de objetos móviles	NO
Sidyawati et al., (2019)	Método		Museo de Artes Asiáticas de Malasia	Cuatro etapas: 1. Investigación y recopilación de información 2. Planificación 3. Desarrollar forma preliminar de producto 4. Revisión del producto final	NO
Poux et al., (2020)	Metodología	---	---	Cuatro etapas: 1. Análisis de necesidades 2. Adquisición de datos 3. Poblado del prototipo	SI



				4. Diseño de aplicaciones VR	
Marasco & Balbi, (2019)	Metodología	---		Tres etapas: 1. Identificación de los elementos centrales de la experiencia patrimonial accesible con VR 2. Identificación de grupos objetivo y desarrollo de personas 3. Desarrollo de escenarios	SI
Kauhanen et al., (2017)	Directrices de diseño	de	---	Dos fases: 1. Proceso de diseño y desarrollo de un prototipo de investigación 2. Estudio del usuario del primer prototipo	NO
Pittarello, (2019)	Metodología		Exposiciones artísticas	Cinco etapas: 1. Diseño del folleto con instrucciones de instalación de la aplicación y probar una vista AR 2. Diseño del poster con instrucciones de instalación de la aplicación y el inicio de la experiencia 3. Diseño de la estructura de la información 4. Diseño conceptual de vistas AR emocionales 5. Diseño de la encuesta post experiencial	NO
Koo et al., (2019)	Metodología		Fortaleza de Hwaseong en Suwon, Corea del Sur	Cinco pasos: 1. Selección del sitio 2. Selección de los temas de interés 3. Modo de navegación 4. Modo de escaneo 5. Modo de juego	NO
Walmsley & Kersten, (2020)	Metodología		Catedral Imperial en Königslutter, Alemania	Cinco fases: 1. Adquisición de datos 2. Modelado de datos 3. Mapeo de texturas de modelos poligonales	NO



			4. Construcción de la escena	
			5. Visualización inmersiva e interactiva	
			Tres fases:	
Bernik et al., (2019)	Método	Artefactos perdidos	1. Reconstrucción de la pintura	NO
			2. Selección de marcadores	
			3. Creación de la aplicación AR	
			Tres grupos:	
Nummenmaa et al., (2021)	Método/Directrices	---	1. Esenciales	NO
			2. Recomendaciones	
			3. Consideraciones	

Las metodologías propuestas se centran en el diseño de aplicaciones XR. Por su parte, los métodos, además de considerar aspectos de diseño, proponen una fase de evaluación de este. En cuanto a las directrices de diseño, los trabajos relacionados comparten la idea de realizar un estudio preliminar que permita comprender el contexto de la aplicación XR, diseñar las interfaces de usuario utilizando técnicas que faciliten la interacción entre el usuario y el contenido de la aplicación, y evaluar el diseño de la aplicación. Por otra parte, los frameworks plantean considerar aspectos relacionados con el contenido, el diseño e implementación de las aplicaciones XR.

La mayor parte de los trabajos relacionados no consideran el UCD y los trabajos que si lo hacen no especifican en qué forma se involucra a los usuarios en los procesos de desarrollo. Además, dichos trabajos se enfocan en ciertas fases del desarrollo de software, principalmente en la fase de diseño. Sin embargo, ningún trabajo revisado cubre todas las fases del proceso de desarrollo de software, las cuales representan limitaciones para el desarrollo de aplicaciones XR, que deben ser superadas.

Para el mejor conocimiento de los autores de este trabajo, al momento no existe una metodología para la creación de aplicaciones de XR que utilicen un enfoque centrado en el usuario. La metodología de desarrollo propuesta en este trabajo de titulación tiene el propósito de solventar las limitaciones existentes, para ello se plantean un conjunto de etapas que cubren todo el proceso de desarrollo de aplicaciones XR utilizando el UCD.



Capítulo 4: Metodología de desarrollo

Para la creación de la metodología de desarrollo propuesta se siguen los pasos planteados por Smith & Apple, (2006) para la creación de metodologías, dichos pasos se describen a continuación.

4.1. Definición de la dirección

La metodología propuesta en esta sección tiene como objetivo proporcionar una guía que permita a desarrolladores de software y otros interesados, la creación de aplicaciones basadas en realidad extendida, usando el diseño centrado en el usuario y el desarrollo ágil de software.

4.2. Identificación de problemas clave

Se identifican los siguientes problemas clave en la creación de aplicaciones de XR en espacios expositivos:

- Calidad de las imágenes
- Cantidad de contenido que se visualiza
- Calidad de la información
- Tecnología de hardware y software adecuadas
- Tiempo requerido para cada etapa del proceso de desarrollo
- Comunicación entre las partes interesadas
- Cambios constantes en los requerimientos funcionales del sistema
- Adaptación del sistema a múltiples plataformas

4.3. Poner el proceso en contexto

El contexto para el proceso de creación de aplicaciones XR es un espacio expositivo.

4.4. Establecer criterios

Criterios para el proceso:

- Es eficaz
- Es eficiente
- Es útil
- Es fácil de usar
- Genera intención de uso en el futuro



Criterios para el producto:

- Visibilidad del estado del sistema
- Interacción entre el sistema y el usuario
- Control y libertad de navegación en el sistema
- Eficiencia de uso
- Diseño estético y minimalista

4.5. Información y recursos de inventario

En esta sección se describen las bases para la creación de la metodología de desarrollo propuesta.

Como afirma Sommerville, (1997), en ocasiones, los requerimientos reales de los usuarios surgen únicamente después de que ellos adquieren experiencia con el sistema, es decir, después de que el sistema ha sido entregado. De ahí que, los procesos de desarrollo de software deben tener la capacidad de adaptarse a los requerimientos cambiantes, al surgimiento de nuevos requerimientos y a la entrega rápida de software. Con este fin, existen varias metodologías ágiles, una de ellas es la denominada Programación Extrema (*XP – Extreme Programming, en inglés*). XP es una metodología que permite desarrollar, integrar y probar una versión de un sistema en un solo día. En XP, los requerimientos de usuario se plasman en historias de usuario, que son escenarios en los que se describen las tareas que los usuarios requieren realizar en el sistema. Las tareas son implementadas y puestas a prueba por los programadores, si las pruebas son superadas con éxito, se libera la versión del sistema. En esta metodología, los clientes participan en la especificación y la priorización de los requerimientos del sistema que se reflejan en las historias de usuario. En ocasiones, es necesario realizar un prototipo para comprender el problema y plantear una solución, en XP esto se conoce como un pico (*spike*) (Sommerville, 1997).

Otra metodología ágil existente es Scrum. Esta metodología se orienta a la administración de un proyecto de desarrollo de software ágil. Scrum consta de tres fases principales. La primera fase corresponde a la planeación del bosquejo, en ella se definen los objetivos del proyecto y el diseño de la arquitectura de software. La segunda fase corresponde a una serie de ciclos, conocidos como sprint, en este ciclo se desarrolla un incremento del sistema. La tercera fase se refiere al cierre del proyecto, aquí se finaliza el proyecto y se elabora la documentación necesaria (Sommerville, 1997). La característica principal de Scrum es la serie de ciclos sprint. Como muestra la Figura 5, un sprint es una unidad cuyo objetivo es la entrega de un nuevo incremento del sistema. Cada sprint tiene una

longitud fija (generalmente de dos a cuatro semanas) y parte de una lista de tareas por realizar. Existen cuatro etapas que conforma cada sprint (Sommerville, 1997), las cuales son:

- i) Etapa de valoración, en esta etapa se revisan y asignan prioridades a las tareas por realizar. Para esto, se requiere la intervención del cliente.
- ii) Etapa de selección, es necesaria la intervención del equipo de proyecto y el cliente para seleccionar las características y funcionalidades a desarrollar en el sprint.
- iii) Etapa de desarrollo, consiste en el desarrollo del software para cubrir las funcionalidades seleccionadas anteriormente, en esta etapa, el cliente no interviene de forma directa, la comunicación con él se da a través de un representante del equipo de desarrollo, llamado Scrum máster.
- iv) Etapa de revisión, consiste en revisar el incremento desarrollado y presentarlo a los participantes. Posteriormente, se da paso a un nuevo sprint.

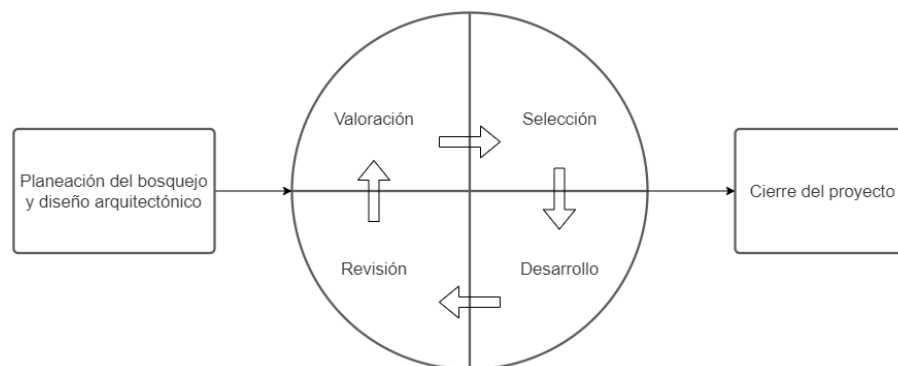


Figura 5

Metodología Scrum. Adaptada de (Sommerville, 1997)

Durante el diseño de cualquier sistema interactivo se lleva a cabo cuatro actividades del UCD: i) comprender y especificar el contexto de uso, ii) especificar los requisitos del usuario, iii) producir soluciones de diseño, iv) evaluar el diseño. Las actividades de diseño centradas en el ser humano se pueden incorporar en enfoques de diseño tan diversos como: el orientado a objetos, cascada, Integración de Factores Humanos (*HFI – Human Factors Integration en inglés*), desarrollo ágil y rápido. A continuación, se describen dichas actividades:

- i) Comprender y especificar el contexto de uso: el contexto en el que se va a utilizar el sistema está definido por: los usuarios y otro grupo de stakeholders, las



características de los usuarios o grupos de usuarios, los objetivos y las tareas de los usuarios, finalmente el entorno organizativo, técnico y físico. Es muy importante recopilar y analizar información sobre el contexto actual para comprender y luego especificar el contexto que se aplicará al sistema futuro. Por una parte, el contexto de uso del sistema debe describirse con suficiente detalle para respaldar los requisitos, el diseño y las actividades de evaluación. Por otra parte, el contexto de uso especificado para el diseño, es decir, el contexto en el que se utilizará el sistema debe establecerse en la especificación de requisitos del usuario para identificar claramente las condiciones bajo las cuales se aplican los requisitos.

- ii) Especificar los requisitos del usuario: esta actividad permite crear una declaración explícita de los requisitos del usuario en relación con el contexto de uso previsto y los objetivos del sistema. La especificación de los requisitos del usuario debe incluir:
 - a) el contexto de uso previsto, b) requisitos derivados tanto de las necesidades del usuario como del contexto de uso, c) requisitos que surgen de los conocimientos, normas y directrices sobre ergonomía y la GUI pertinente, d) requisitos y objetivos de usabilidad, incluido el rendimiento de usabilidad medible y los criterios de satisfacción en contextos de uso específicos, e) requisitos derivados de requisitos organizativos que afectan directamente al usuario. Para garantizar la calidad de las especificaciones de los requerimientos de usuario se debe tener presente cuatro aspectos: a) debe ser expresado en términos que permitan hacer pruebas posteriores, b) pueda ser verificado por los stakeholders, c) deben ser internamente consistentes, y d) deben ser actualizados según sea necesario durante la vida del proyecto.
- iii) Produciendo soluciones de diseño: las posibles soluciones de diseño se establecen a partir de: la descripción del contexto de uso, los resultados de cualquier evaluación de línea de base, el estado del arte establecido en el dominio de la aplicación, las pautas y estándares de diseño y usabilidad, y la experiencia y el conocimiento del diseño multidisciplinario. A medida que se detallan y evalúan las posibles soluciones de diseño, pueden surgir más requisitos de usuario. La producción de soluciones de diseño debe incluir las siguientes sub-actividades:
 - a. Diseñar tareas de usuario, interacción usuario-sistema y GUI para satisfacer los requisitos del usuario, teniendo en cuenta la UX: diseñar para mejorar la UX es un proceso de innovación, que tiene en cuenta la satisfacción del usuario, incluidos los aspectos emocionales y estéticos, así como la eficacia y la



- eficiencia. El diseño implica una variedad de enfoques creativos para lograr una buena UX.
- b. Hacer más concretas las soluciones de diseño: para comunicar el diseño propuesto a los usuarios y stakeholders para obtener una retroalimentación, los diseñadores pueden hacer uso de escenarios, simulaciones, modelos y mockups u otras formas de prototipo.
 - c. Alterar las soluciones de diseño en respuesta a la evaluación y la retroalimentación centradas en el usuario: La retroalimentación permite revelar los puntos fuertes y débiles de la solución de diseño y puede proporcionar nueva información sobre las necesidades del usuario y sugerir áreas en las que se puede mejorar el diseño. Los costos y beneficios de los cambios propuestos deben evaluarse y utilizarse para tomar decisiones sobre lo que se modificará.
 - d. Comunicar las soluciones de diseño a los responsables de su implementación: al comunicar las soluciones de diseño, se debe realizar una explicación y justificación de las decisiones de diseño, especialmente cuando son necesarias las compensaciones.
- iv) Evaluar el diseño: Para una evaluación centrada en el usuario se debe tener presente varios aspectos: a) la asignación de recursos, tanto para obtener retroalimentación temprana con el fin de mejorar el producto, como en una etapa posterior, para determinar si se han cumplido los requisitos, b) la planificación de la evaluación centrada en el usuario para que se ajuste al cronograma del proyecto, c) la realización de pruebas suficientemente completas para proporcionar resultados significativos para el sistema en su conjunto, d) el análisis de los resultados, la priorización de los problemas y la propuesta de soluciones, e) la comunicación de las soluciones de forma adecuada para que el equipo de diseño pueda utilizarlas de forma eficaz.

Con base en las metodologías ágiles y el DCU mencionados anteriormente y de acuerdo con las características propias de las aplicaciones de XR, se propone una metodología para la creación de aplicaciones de XR aplicada a espacios expositivos.

4.6. Ordenar lógicamente el proceso

En esta sección se describe a detalle cada una de las seis etapas de la metodología de desarrollo propuesta (Figura 6). En cada etapa se especifican las actividades, roles, productos, pre y post condiciones.



Figura 6

Etapas de la metodología de desarrollo propuesta. Fuente: Autores (2021)

4.6.1. Comprender y especificar el contexto de uso

En esta etapa se realizan actividades que permitan recopilar y analizar información sobre la situación actual del Espacio Expositivo (EE), con el propósito de comprender y especificar el contexto en el que se usará la aplicación XR. Esta etapa es fundamental ya que permite justificar los requerimientos, el diseño y las actividades de evaluación (ISO 9241-210, 2010) de la aplicación. Para ello, se realizan las siguientes actividades:

- i) Reunión inicial con los representantes del EE y otros stakeholders: en esta reunión se plantea el problema y necesidades actuales del EE, así como también las posibles soluciones.
- ii) Reconocimiento del EE: representa el primer acercamiento de los stakeholders hacia el EE con el fin de analizar si las posibles soluciones son adecuadas para el contexto.
- iii) Especificación de las áreas de interés: definir las posibles áreas sobre las cuales se aplicará XR.



Para realizar estas actividades, se involucran diferentes roles, tales como:

- i) Representante del EE: es un experto en el dominio que posee los conocimientos necesarios para exponer las necesidades y problemas que se presentan en el contexto actual del EE.
- ii) Representante del equipo de desarrollo: es el responsable de la comunicación entre el equipo de desarrollo y los stakeholders. Se encarga de presentar las posibles soluciones de acuerdo con el contexto del EE.
- iii) Representante de la Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) del EE: debe garantizar que el EE cuenta con la tecnología adecuada para el correcto funcionamiento y despliegue de la aplicación a desarrollar.

Como resultado de esta etapa se obtienen los siguientes productos:

- i) Definición del alcance y los objetivos de proyecto
- ii) Definición del responsable del proyecto: se encarga de dar seguimiento al proyecto en cuestiones legales, cumplimiento del cronograma y requerimientos, y de la coordinación de las reuniones entre el representante del equipo de desarrollo y los stakeholders.

Finalmente, en esta etapa se identifica como precondition: la identificación del problema o necesidades existentes en el EE. Y como postcondiciones: la resolución de cuestiones legales (contrato, convenio, entre otros) que permitan el correcto desarrollo del proyecto.

4.6.2. Especificar los requerimientos del usuario

Esta etapa permite recopilar de forma explícita los requerimientos del usuario en relación con el contexto de uso y los objetivos de la aplicación. Para ello, se plantean las siguientes actividades:

- i) Diseño del prototipo.
- ii) Reunión con representantes de EE para definir las funcionalidades del sistema, a través de la evaluación del prototipo.
- iii) Reunión entre el representante de la TICs y el representante del equipo de desarrollo para definir restricciones en cuanto a tecnologías.
- iv) Elaboración del cronograma: se establecen las fechas de entrega de los productos de las etapas posteriores del desarrollo de la aplicación. El cronograma incluye las fechas para las visitas previstas al EE, con el fin de realizar la recolección de datos sin interrumpir las actividades normales del mismo.

En esta etapa se involucran los siguientes roles:



- i) Representante del EE: colabora en la evaluación del prototipo y se encarga de proporcionar la información necesaria para definir las funcionalidades que se esperan de la aplicación.
- ii) Representante del equipo de desarrollo: se encarga de diseñar el prototipo inicial y posteriormente adquirir, analizar y definir los requerimientos funcionales y no funcionales de la aplicación.
- iii) Representante de la TICs del EE: colabora en la definición de los requerimientos no funcionales de la aplicación.

Como resultado de esta etapa se obtienen los siguientes productos:

- i) Prototipo (pantallas principales, tarjetas infográficas, entre otros).
- ii) Listado de requerimientos funcionales.
- iii) Listado de requerimientos no funcionales.
- iv) Cronograma de actividades.

Finalmente, en esta etapa se identifica como precondition: la aprobación de aspectos legales.

Y como postcondición: la evaluación de los requerimientos.

4.6.3. Recolectar datos

Esta etapa tiene como objetivo recolectar los datos necesarios para modelar el contenido que se visualizará en la aplicación. Para esto, se plantean las siguientes actividades:

- i) Reconocimiento de las áreas de interés: una vez definidas las áreas de interés, es necesario que el representante del equipo de desarrollo pueda familiarizarse con estas áreas. Con este fin, se puede realizar una visita guiada por un experto del EE en dicha área, buscar información a través de la web y con material provisto por el EE.
- ii) Selección de piezas expositivas: se seleccionan las piezas expositivas más representativas de cada una de las áreas de interés, estas piezas serán mostradas en la aplicación.
- iii) Recolección de datos de las piezas expositivas: se recopila toda la información disponible de las piezas expositivas consultando fuentes internas y externas al EE.
Al final, toda la información debe ser validada por el representante de EE.

En el Anexo 1 se incluye una guía que describe a profundidad cada una de las actividades correspondientes a esta etapa de la metodología.

En esta etapa se involucran los siguientes roles:



- i) Representante del EE: tiene la responsabilidad de proporcionar la información necesaria tanto para el reconocimiento de las áreas de interés como para la recolección de datos de las piezas expositivas. También, se encarga de la validación de la información recopilada.
- ii) Representante del equipo de desarrollo: con base en el reconocimiento previo de las áreas de interés, se encarga de seleccionar el contenido más relevante que será visualizado en la aplicación en coordinación con el representante del EE.

Los siguientes productos son obtenidos al final de esta etapa:

- i) Listado de las piezas más relevantes.
- ii) Listado del tipo de multimedia a utilizar en la aplicación.
- iii) Listado final de las piezas expositivas a utilizar en la aplicación.
- iv) Estructura de la información que se guardará en el almacén de datos.
- v) Listado de instrumentos necesarios para realizar la recolección de datos.
- vi) Horario establecido para la recolección de datos.
- vii) Listado de los responsables de las piezas expositivas, con los que se gestionarán los permisos para el acceso a éstas.

En esta etapa se identifica como precondición: la aprobación de los requerimientos. Y como postcondición: la validación del contenido que se visualizará en el sistema.

4.6.4. Diseñar la arquitectura del sistema

En esta etapa se realiza el diseño de la arquitectura, aquí, se identifican los componentes principales de la aplicación.

En esta etapa se involucran los siguientes roles:

- i) Representante del equipo de desarrollo: presenta a los stakeholders el diseño de la arquitectura.
- ii) Representante de la TICs: evalúa el diseño arquitectónico.

Al terminar esta etapa, se obtienen los siguientes productos: Diagrama de la arquitectura del sistema.

En esta etapa se identifica como precondición: la aprobación del contenido a visualizar. Como postcondición se tiene: la validación de la arquitectura propuesta.



4.6.5. *Ciclo VDDE*

El ciclo VDDE es una etapa iterativa que tiene como objetivo realizar entregas incrementales de la aplicación. Cada ciclo está compuesto por cuatro subetapas: Valoración, Diseño, Desarrollo y Evaluación. Estas subetapas se describen a continuación:

4.6.5.1. **Valoración**

La valoración es la subetapa inicial del ciclo VDDE en la que se analizan los requerimientos, para esto se realizan las siguientes actividades:

- i) Priorizar los requerimientos: los cuales deben ser ordenados según la prioridad establecida por los stakeholders.
- ii) Seleccionar los requerimientos: se eligen los requerimientos que se van a cubrir durante el ciclo, empezando por los requerimientos de mayor prioridad.

En estas actividades intervienen los siguientes roles:

- i) Representante del EE: colabora en la definición de las prioridades de los requerimientos y en la selección de los requerimientos que se cubrirán durante el ciclo.
- ii) Representante del equipo de desarrollo: brinda apoyo para la definición de prioridades y selección de los requerimientos. También, se encarga de transmitir los requerimientos al equipo de desarrollo.

El producto obtenido en esta subetapa es el listado de requerimientos.

Finalmente, se obtienen como precondiciones:

- i) Listado de requerimientos: es el listado de requerimientos seleccionados para el ciclo.
- ii) Retroalimentación sobre los requerimientos: cuando existe un ciclo previo al actual, se requiere la retroalimentación que se obtiene de la evaluación del usuario al final de cada ciclo.

Como postcondición se tiene: revisar las prioridades de los requerimientos.

4.6.5.2. **Diseño**

Esta es la segunda subetapa del ciclo VDDE. Aquí, ocurren dos actividades principales:

- i) Diseño de la solución: se diseñan las tareas de usuario, la interacción entre el usuario y la aplicación, y la GUI, teniendo en cuenta la UX (ISO 9241-210, 2010), para hacer frente a los requerimientos seleccionados para el ciclo actual.



- ii) Evaluación de la solución: el diseño es presentado a los stakeholders para su evaluación. La retroalimentación recibida sirve para mejorar el diseño y descubrir nuevas necesidades del usuario (ISO 9241-210, 2010).

En esta subetapa se involucran los siguientes roles:

- i) El equipo de desarrollo: se encarga de realizar el diseño de la solución, a través de algún tipo de prototipo (mockup, escenarios, modelos, etc.)
- ii) Representante del EE: evalúa el diseño proporcionado por el representante del equipo de desarrollo.

Al terminar esta subetapa se tiene como producto: el diseño de la aplicación.

Se identifica como precondición: el listado de requerimientos seleccionados. Y como postcondición: el desarrollo de la solución de diseño.

4.6.5.3. Desarrollo

Esta subetapa es la tercera en el ciclo VDDE, tiene como actividad principal el desarrollo de un prototipo funcional basado en el diseño de la solución producido en la subetapa anterior. En esta subetapa interviene el equipo de desarrollo, en caso de existir dudas sobre el diseño, éstas son resueltas a través del representante del equipo de desarrollo. Como resultado de esta subetapa se obtiene el prototipo funcional que debe cubrir el listado de requerimientos seleccionados para el ciclo actual. Para el desarrollo se tiene como precondición: el diseño de la solución, y como postcondición: la evaluación del prototipo funcional.

4.6.5.4. Evaluación

La evaluación es la cuarta y última subetapa del ciclo VDDE, en ella se realizan las siguientes actividades:

- i) Realizar pruebas de la solución frente a los requerimientos de usuario: las pruebas realizadas en la aplicación tienen el propósito de verificar y validar la aplicación.
- ii) Analizar los resultados de las pruebas: se analizan los resultados obtenidos de las pruebas y se obtiene retroalimentación del usuario. En esta actividad pueden surgir nuevos requerimientos o modificaciones a los mismos.

En esta subetapa se involucran los siguientes roles:

- i) Representante del EE: interviene en la ejecución de las pruebas de la aplicación y entrega la retroalimentación correspondiente.



- ii) Representante del equipo de desarrollo: presenta el prototipo funcional de la aplicación y capacita al usuario sobre el funcionamiento de este, para que pueda realizar las pruebas.

Como productos de esta subetapa se obtienen: el listado de requerimientos resueltos en el ciclo, el listado de requerimientos a modificar, y el listado de nuevos requerimientos encontrados.

Adicionalmente, se identifica como precondition: el prototipo funcional. Y como postcondiciones:

- i) Retroalimentación obtenida del usuario.
- ii) En caso de que aún existan requerimientos por resolver, se da inicio a un nuevo ciclo. Caso contrario, se pasa a la etapa final de la metodología que corresponde al cierre del proyecto.

4.6.6. Cierre del proyecto

Esta es la etapa final de la metodología, en ella se entrega la aplicación finalizada, además, se elabora y entrega la documentación necesaria, tal como: manual técnico y manual de usuario. En esta etapa intervienen todas las partes interesadas (representante del EE, representante del equipo de desarrollo y representante de la TICs del EE), quienes aprueban el cierre del proyecto. La precondition para que se lleve a cabo esta etapa es que todos los requerimientos de usuario deben estar resueltos.

4.7. Ejecutar la metodología

La metodología se aplica en el caso de estudio: Museo Municipal Remigio Crespo Toral, Cuenca, Ecuador; y se describe en el Capítulo 5: Ejecución de la metodología en el caso de estudio, de este documento.

4.8. Evaluar cada paso de la metodología

A través de la ejecución de la metodología en el caso de estudio se verifica y valida que las etapas planteadas en la metodología mantengan un orden secuencial y cubran todo el proceso de desarrollo de aplicaciones.



4.9. Facilitar el proceso

La metodología propuesta es evaluada según los criterios planteados en la sección Establecer criterios, a través de la evaluación experimental descrita en el Capítulo 6: Evaluación de la metodología .

4.10. Evaluar el desempeño

En esta sección se analizan los resultados obtenidos de la evaluación experimental de la metodología (Capítulo 6: Evaluación de la metodología).



Capítulo 5: Ejecución de la metodología en el caso de estudio

La metodología propuesta para la creación de aplicaciones XR en espacios expositivos se ha ejecutado en el caso de estudio: Museo Municipal Remigio Crespo Toral, Cuenca, Ecuador.

5.1. Comprender y especificar el contexto de uso

En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

- i) Reunión inicial con los siguientes stakeholders: representante del Museo Municipal Remigio Crespo Toral, director de la Dirección Municipal de Cultural de Cuenca, representante de TICs del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Cuenca, representantes de la Universidad de Cuenca y el equipo de desarrollo. Al final de esta actividad se plantea el problema, las necesidades y las posibles soluciones (Tabla 2).

Tabla 2

Productos de la reunión inicial

Problema	Necesidades	Posibles soluciones
Debido a la pandemia COVID 19 el museo no pudo abrir sus puertas a los visitantes.	Se evidenció la necesidad de un museo virtual que permita el acceso a los espacios más relevantes del museo.	<ul style="list-style-type: none">• Aplicación móvil con AR• Aplicación web con VR

- ii) Primer acercamiento al museo con los siguientes stakeholders: representante del museo, director de la Dirección Municipal de Cultura de Cuenca, representante de TICs del GAD Municipal de Cuenca, representante de la Universidad de Cuenca y el equipo de desarrollo. Se realizó un recorrido de las exposiciones más relevantes, según el representante del museo con el fin de analizar si es factible implementar una aplicación móvil con AR o una aplicación web con VR. Debido a que la aplicación móvil con AR requiere la presencia de los visitantes en el museo, se descartó esta solución. Además, de esta visita se conoció que el museo cuenta con exposiciones que son temporales, es decir, que la exposición está disponible por un tiempo limitado. Algunas de estas exposiciones, como, por ejemplo, la Sala de Elia Liut, es una de las exposiciones más visitadas en el museo, por lo que existe la necesidad de mantenerla disponible de forma virtual. También, existen áreas restringidas al



público en general, como la Reserva Arqueológica. Por estos motivos se elige implementar una aplicación web con VR.

iii) Se definen las posibles áreas del museo sobre las cuales se aplicará XR:

- Sala Amarilla
- Reserva Arqueológica
- Sala de Elia Liut
- Salón Rojo

Como resultado de esta etapa se obtienen los siguientes productos:

i) Definición del alcance y los objetivos de proyecto

Alcance: Implementar una aplicación web que permita el acceso a las exposiciones de la Sala de Elia Liut y la Reserva Arqueológica del museo, a través de recorridos 360°.

Objetivos:

- Permitir el acceso virtual al museo para exponer el museo a nivel global mediante una aplicación web basada en VR.
- Mostrar la información de los objetos más relevantes de cada exposición del museo para la mejor visualización del usuario a través de tarjetas infográficas.

ii) La persona responsable del seguimiento del proyecto es Victoria Vicuña, encargada de la digitalización en el Archivo Histórico del museo.

5.2. Especificar los requisitos del usuario

Se plantean las siguientes actividades:

- i) El equipo de desarrollo diseña un prototipo inicial del sistema que se usará para la recolección de requerimientos.
- ii) Reunión con Ximena Pulla encargada de la reserva de arte y Juan Pérez encargado de la reserva arqueológica del museo para presentar el prototipo y definir las funcionalidades del sistema.
- iii) Reunión con representantes de la TICs del GAD Municipal para definir restricciones en cuanto a tecnologías. De esta actividad, se define que las tecnologías a usar quedan a criterio del equipo de desarrollo y la TICs proveerá la infraestructura necesaria para el despliegue del sistema.
- iv) El equipo de desarrollo presenta el cronograma a la encargada del proyecto.



Como resultado de esta segunda etapa se obtienen los siguientes productos:

- i) Requerimientos funcionales y no funcionales (Tabla 3).
- ii) Cronograma de actividades (Figura 7).

Tabla 3

Requerimientos funcionales y no funcionales

Requerimientos funcionales	Requerimientos no funcionales
<ul style="list-style-type: none">• La pantalla principal de la aplicación debe mostrar un listado de los museos existentes.• La cabecera de todas las pantallas debe mostrar el logo tanto del GAD municipal como del museo.• La segunda pantalla presenta toda la información del museo seleccionado en la pantalla principal.• La tercera pantalla debe mostrar las imágenes 360° de la exposición.• La tercera pantalla debe mostrar íconos que permitan desplegar las tarjetas infográficas de los objetos seleccionados.• La tercera pantalla debe mostrar íconos que permitan la transición entre las diferentes escenas de la exposición.• Las tarjetas infográficas deben mostrar botones que permitan ampliar las fotografías de los objetos.	<ul style="list-style-type: none">• La aplicación debe ser responsive.• Las imágenes deben poseer una calidad 4K.• El contenido debe cargarse a la aplicación de forma dinámica.• Se utiliza Oracle XE como base de datos.• Se utiliza Spring Boot (Java) para el backend.• Se utiliza React Js para el frontend.



Figura 7

Cronograma de actividades. Fuente: Autores (2021)

5.3. Recolectar datos

En la etapa de recolección de datos se realizan las siguientes actividades:

- i) Reconocimiento de las áreas de interés: se realiza una visita guiada por un experto del museo, se busca información a través de la web y material provisto por el experto del museo.



- ii) Selección de piezas expositivas: junto con los encargados de la reserva de arte y la reserva arqueológica del museo se seleccionan las piezas expositivas más representativas tanto de la Sala de Elia Liut como de la Reserva Arqueológica.
- iii) Recolección de datos de las piezas expositivas: los expertos del museo proveen la información de las piezas expositivas. Las fotografías de las piezas expositivas se toman con una cámara con calidad 4K. Por su parte, las imágenes 360° se tomaron con una cámara 360° con calidad 4K.

Los siguientes productos son obtenidos al final de esta etapa:

- i) La Tabla 4 muestra el listado de las piezas más relevantes.

Tabla 4

Listado de piezas expositivas desde el punto de vista del experto y del visitante

Según el experto	Según el visitante
Trofeo de Elia Liut	Cigarrera de Elia Liut
Tarjeta postal del Telégrafo I	Brújula de Elia Liut
Sellos emitidos por Correos del Ecuador e Italia	Casaca de cuero
Réplica del Telégrafo I	Gorro de Elia Liut
Pintura de Elia Liut	Réplica del Telégrafo I
Medalla de honor	
José Abel Castillo	
Gorro de Elia Liut	
Cuadro de estampillas	
Cigarrera de Elia Liut	
Casaca de cuero	
Brújula de Elia Liut	

- ii) La Tabla 5 presenta el listado del tipo de multimedia a utilizar en la aplicación.

Tabla 5

Listado de tipos de multimedia a utilizar en la aplicación

Multimedia a utilizar
Texto
Imágenes
Videos



- iii) El listado final de las piezas expositivas a utilizar en la aplicación se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Listado final de las piezas expositivas a visualizar en la aplicación

Piezas expositivas
Tarjeta postal del Telégrafo I
Sellos emitidos por Correos del Ecuador e Italia
Réplica del Telégrafo I
Pintura de Elia Liut
Medalla de honor
José Abel Castillo
Gorro de Elia Liut
Cuadro de estampillas
Cigarrera de Elia Liut
Casaca de cuero
Brújula de Elia Liut

- iv) La estructura de la información que se guardará en la base de datos se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Estructura de la información de la base de datos

Nombre	Autor	Descripción	Época	Técnica	Material
---------------	--------------	--------------------	--------------	----------------	-----------------

- v) El listado de instrumentos necesarios para realizar la recolección de datos se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8

Listado de instrumentos necesarios para realizar la recolección de datos

Instrumentos
Cámara 360°
Cámara iPhone 7



Trípode

vi) Horario establecido para la recolección de datos (Tabla 9).

Tabla 9

Horario para la recolección de datos

Horario	
Día	Lunes
Hora	9:00 – 13:00

vii) El listado de los responsables de las piezas expositivas se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10

Permisos necesarios para acceder a las piezas expositivas

Pieza	Responsable
Tarjeta postal de el Telégrafo I	Ximena Pulla
Sellos emitidos por Correos del Ecuador e Italia	Ximena Pulla
Réplica del Telégrafo I	—
Pintura de Elia Liut	—
Medalla de honor	Ximena Pulla
José Abel Castillo	—
Gorro de Elia Liut	Juan Pérez
Cuadro de estampillas	Ximena Pulla
Cigarrera de Elia Liut	Ximena Pulla
Casaca de cuero	Juan Pérez
Brújula de Elia Liut	Ximena Pulla

5.4. Diseño de la arquitectura del sistema

En esta etapa se realiza el diseño de la arquitectura del sistema. La arquitectura planteada consta de tres capas: capa de datos, capa de servicio y capa de presentación. En la Capa de Datos se utiliza Oracle XE como base de datos y permite almacenar la información correspondiente a las



exposiciones del museo. La Capa de Servicio permite el acceso a la información de la Capa de Datos, para ello se implementa una API Rest utilizando Spring Boot como framework. Finalmente, en la Capa de Presentación se hace uso de React Js que permite crear interfaces gráficas interactivas, así como también permite la interacción con diferentes dispositivos de entrada y/o salida. El producto final de esta etapa es el diagrama de arquitectura mostrado en la Figura 8.

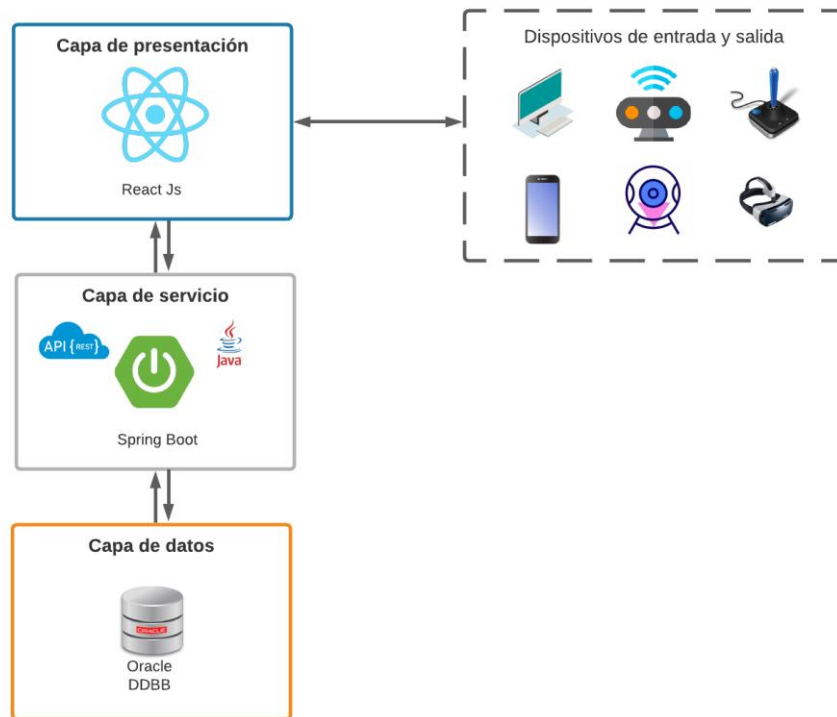


Figura 8

Arquitectura del sistema. Fuente: Autores (2021)

5.5. Ciclo VDDE

5.5.1. Primer ciclo VDDE

A continuación, se describe el primer ciclo VDDE desarrollado en el caso de estudio.

5.5.1.1. Valoración

En esta subetapa se realizan las siguientes actividades:



- i) Los requerimientos se ordenan según la prioridad establecida por los representantes del museo y de la TICs del GAD municipal.
- ii) Se eligen los requerimientos que se van a cubrir durante el ciclo, empezando por los requerimientos de mayor prioridad. Estas actividades se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11*Requerimientos funcionales y no funcionales en orden de prioridad*

Requerimientos	Prioridad
<ul style="list-style-type: none"> • La tercera pantalla debe mostrar las imágenes 360° de la exposición. 	<ul style="list-style-type: none"> • ALTA
<ul style="list-style-type: none"> • La tercera pantalla debe mostrar íconos que permitan desplegar las tarjetas infográficas de los objetos seleccionados. 	<ul style="list-style-type: none"> • ALTA
<ul style="list-style-type: none"> • La tercera pantalla debe mostrar íconos que permitan la transición entre las diferentes escenas de la exposición. 	<ul style="list-style-type: none"> • ALTA
<ul style="list-style-type: none"> • Las tarjetas infográficas deben mostrar botones que permitan ampliar la información de los objetos. 	<ul style="list-style-type: none"> • ALTA
<ul style="list-style-type: none"> • La pantalla principal de la aplicación debe mostrar un listado de los museos existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • ALTA
<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación debe ser responsive. 	<ul style="list-style-type: none"> • ALTA
<ul style="list-style-type: none"> • La segunda pantalla presenta toda la información del museo seleccionado en la pantalla principal. 	<ul style="list-style-type: none"> • MEDIA
<ul style="list-style-type: none"> • La cabecera de todas las pantallas debe mostrar el logo tanto del GAD municipal como del museo. 	<ul style="list-style-type: none"> • MEDIA
<ul style="list-style-type: none"> • El contenido debe cargarse a la aplicación de forma dinámica. 	<ul style="list-style-type: none"> • BAJA
<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza Oracle XE como base de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • BAJA
<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza Spring Boot (Java) para el backend. 	<ul style="list-style-type: none"> • BAJA
<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza React Js para el frontend. 	<ul style="list-style-type: none"> • BAJA

El producto obtenido en esta subetapa es el listado de requerimientos de prioridad ALTA que se cubrirán en el primer ciclo VDDE (Tabla 11).

5.5.1.2. Diseño

En esta subetapa se desarrollan dos actividades:



- i) Se diseñan las tareas de usuario, la interacción entre el usuario y la aplicación, y la GUI para hacer frente a los requerimientos seleccionados para el ciclo actual.
- ii) El diseño es presentado a los stakeholders para su evaluación. La retroalimentación recibida sirve para mejorar el diseño y descubrir nuevas necesidades del usuario.

Al terminar esta subetapa se tiene como producto el diseño de la aplicación. El diseño de la pantalla principal se muestra en la Figura 9, esta pantalla muestra el listado de museos existentes, donde el usuario puede seleccionar uno de ellos. La Figura 10 muestra los recorridos virtuales pertenecientes al museo seleccionado en la pantalla principal. En la Figura 11 se observa uno de los recorridos virtuales (Sala Elia Liut) del museo. Finalmente, la Figura 12 muestra el diseño de la tarjeta infográfica de una de las piezas pertenecientes a la Sala Elia Liut.

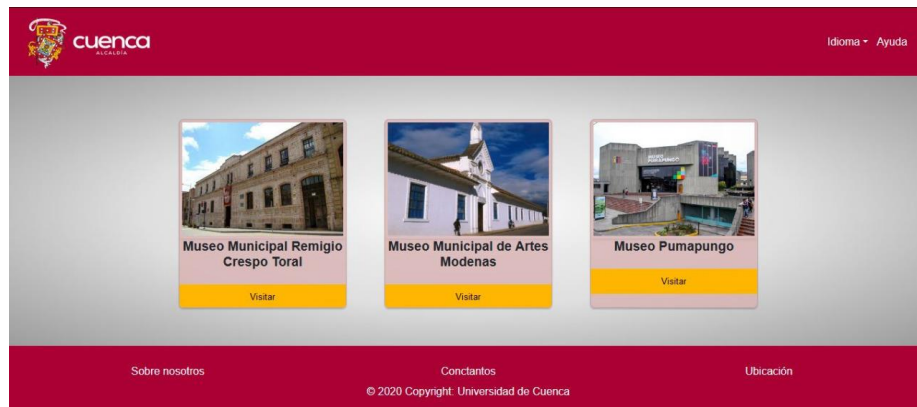


Figura 9

Pantalla principal. Fuente: Autores (2021)

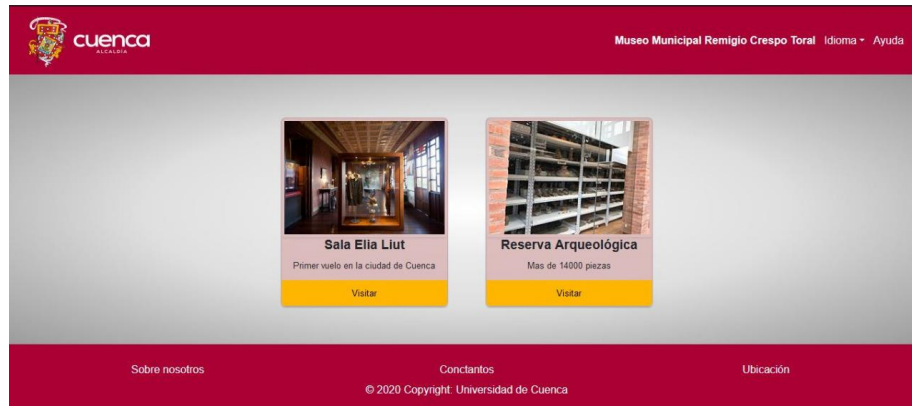


Figura 10

Pantalla del museo. Fuente: Autores (2021)

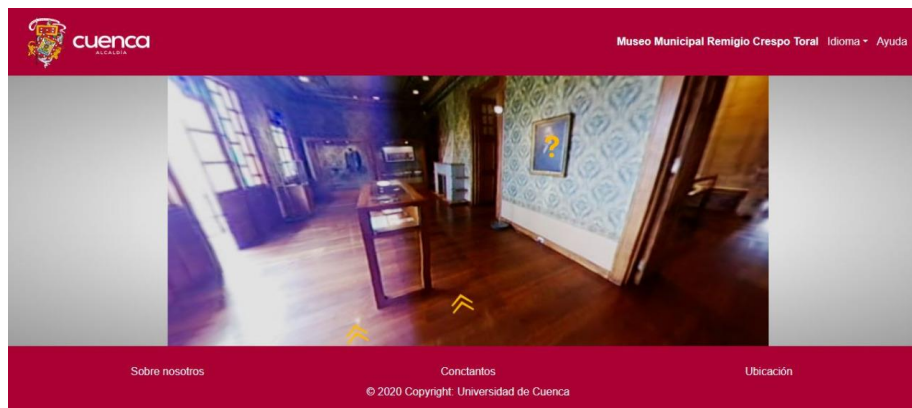


Figura 11

Recorrido virtual de la Sala Elia Liut. Fuente: Autores (2021)

5.5.1.3. Desarrollo

En esta etapa se desarrollan las funcionalidades que permitan cubrir los requisitos de usuario seleccionados para el presente ciclo.

5.5.1.4. Evaluación

En esta subetapa se realizan las siguientes actividades:



Figura 12

Tarjeta infográfica. Fuente: Autores (2021)

- i) Los stakeholders realizan pruebas de la aplicación con el propósito de verificar y validar los requerimientos de usuario.
- ii) Se obtiene retroalimentación de los stakeholders a través del análisis de los resultados obtenidos de las pruebas.

En la Tabla 12 se observa el listado de requerimientos resueltos en el presente ciclo, el listado de requerimientos a modificar, y el listado de nuevos requerimientos encontrados.

Tabla 12

Requerimientos resueltos, modificaciones y requerimientos nuevos

Requerimientos	Resuelto	Observación
<ul style="list-style-type: none"> • La tercera pantalla debe mostrar las imágenes 360° de la exposición. 	SI	La calidad de las imágenes 360 debe ser en 4K.
<ul style="list-style-type: none"> • La tercera pantalla debe mostrar íconos que permitan desplegar las tarjetas infográficas de los objetos seleccionados. 	SI	Los íconos deben tener un tamaño proporcional a la pantalla.
<ul style="list-style-type: none"> • La tercera pantalla debe mostrar íconos que permitan la transición entre las diferentes escenas de la exposición. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> • Las tarjetas infográficas deben mostrar botones que permitan ampliar la información de los objetos. 	SI	Al ampliar la información se debe mostrar una imagen de mayor tamaño.
<ul style="list-style-type: none"> • La pantalla principal de la aplicación debe mostrar un listado de los museos existentes. 	SI	El listado de museos debe presentarse de forma vertical. La información de los museos debe presentarse en tarjetas con orientación horizontal.



• La aplicación debe ser responsive.	SI	---
Nuevos Requerimientos		
• Se debe controlar la posición de profundidad de los elementos en la pantalla, durante el recorrido virtual.	---	---
• La aplicación debe mostrar una barra de progreso mientras se cargan las imágenes.	---	---

5.5.2. Segundo ciclo VDDE

A continuación, se describe el segundo ciclo VDDE desarrollado en el caso de estudio.

5.5.2.1. Valoración

En esta subetapa se realizan las siguientes actividades:

- iii) Los requerimientos se ordenan según la prioridad establecida por los representantes del museo y de la TICs del GAD municipal. También, se incorporan los nuevos requerimientos encontrados en el ciclo previo y las observaciones realizadas a los requerimientos existentes.
- iv) Se eligen los requerimientos que se van a cubrir durante el ciclo. Estas actividades se resumen la Tabla 13.

Tabla 13

Requerimientos funcionales y no funcionales en orden de prioridad

Requerimientos	Prioridad
• La tercera pantalla debe mostrar las imágenes 360° de la exposición con una calidad de 4K	• ALTA
• La tercera pantalla debe mostrar íconos, con tamaño proporcional a la pantalla, que permitan desplegar las tarjetas infográficas de los objetos seleccionados.	• ALTA
• Las tarjetas infográficas deben mostrar botones que permitan ampliar la información de los objetos y mostrar una imagen de mayor tamaño.	• ALTA
• La pantalla principal de la aplicación debe mostrar un listado de los museos existentes. El listado de museos debe presentarse de forma vertical.	• ALTA
• La segunda pantalla presenta toda la información del museo seleccionado en la pantalla principal.	• MEDIA



<ul style="list-style-type: none">• La cabecera de todas las pantallas debe mostrar el logo tanto del GAD municipal como del museo.	<ul style="list-style-type: none">• MEDIA
<ul style="list-style-type: none">• Se debe controlar la posición de profundidad de los elementos en la pantalla, durante el recorrido virtual.	<ul style="list-style-type: none">• MEDIA
<ul style="list-style-type: none">• La aplicación debe mostrar una barra de progreso mientras se cargan las imágenes.	<ul style="list-style-type: none">• MEDIA
<ul style="list-style-type: none">• El contenido debe cargarse a la aplicación de forma dinámica.	<ul style="list-style-type: none">• BAJA
<ul style="list-style-type: none">• Se utiliza Oracle XE como base de datos.	<ul style="list-style-type: none">• BAJA
<ul style="list-style-type: none">• Se utiliza Spring Boot (Java) para el backend.	<ul style="list-style-type: none">• BAJA
<ul style="list-style-type: none">• Se utiliza React Js para el frontend.	<ul style="list-style-type: none">• BAJA

El producto obtenido en esta subetapa es el listado de requerimientos de prioridad ALTA, MEDIA y BAJA que se cubrirán en el presente ciclo VDDE (Tabla 13).

5.5.2.2. Diseño

En esta subetapa se desarrollan dos actividades:

- iii) Se diseñan las tareas de usuario, la interacción entre el usuario y la aplicación, y la GUI para hacer frente a los requerimientos seleccionados para el ciclo actual.
- iv) El diseño es presentado a los stakeholders para su evaluación. La retroalimentación recibida sirve para mejorar el diseño y descubrir nuevas necesidades del usuario.

Al terminar esta subetapa se tiene como producto el diseño de la aplicación. El diseño de la pantalla principal se muestra en la Figura 13, esta pantalla muestra el listado de museos existentes, donde el usuario puede seleccionar uno de ellos. La Figura 14 muestra los recorridos virtuales pertenecientes al museo seleccionado en la pantalla principal. En la **Error! Reference source not found.** se observa uno de los recorridos virtuales (Sala Elia Liut) del museo. Finalmente, la Figura 15 muestra el diseño de la tarjeta infográfica de una de las piezas pertenecientes a la Sala Elia Liut.

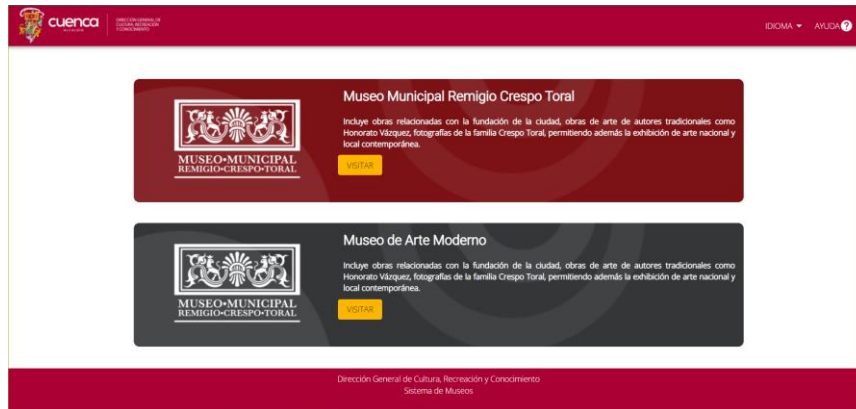


Figura 13

Pantalla principal. Fuente: Autores (2021)

5.5.2.3. Desarrollo

En esta etapa se desarrollan las funcionalidades que permitan cubrir los requisitos de usuario seleccionados para el presente ciclo.

5.5.2.4. Evaluación

En esta subetapa se realizan las siguientes actividades:

- iii) Los stakeholders realizan pruebas de la aplicación con el propósito de verificar y validar los requerimientos de usuario.
- iv) Se obtiene retroalimentación de los stakeholders a través del análisis de los resultados obtenidos de las pruebas.

En la

Tabla 14 se observa el listado de requerimientos resueltos en el presente ciclo, el listado de requerimientos a modificar, y el listado de nuevos requerimientos encontrados.



Museo Municipal Remigio Crespo Toral

Información

En la ciudad de Cuenca, en la Calle Larga y Presidente Borrero se encuentra la Casa Museo Remigio Crespo Toral que incluye obras relacionadas con la fundación de la ciudad, obras de arte de autores tradicionales como Honorato Vázquez, fotografías de la familia Crespo Toral, permitiendo además la exhibición de arte nacional y local contemporánea.

Salón tradicional Las instalaciones de la Casa Museo se asientan en la casa patrimonial reconstruida por la Administración del Alcalde del cantón Cuenca, Marcelo Cabrera, misma que perteneció a la familia de Remigio Crespo. La casa tiene acceso también desde la calle Paseo 3 de noviembre, desde donde se observa las orillas del Río Tomebamba y los tradicionales árboles de magrota y nogal.

La Casa Museo tiene 4 plantas en las que se exhibe la obra de Honorato Vázquez quien fue un paisajista y poeta cuencano, reliquias de los viajes de Elio Lutz quien fue el primer piloto en aterrizar en la ciudad y fotografías antiguas entre las que destaca la del centro histórico cuencano que posó 15 cuadras a la redonda, en los años 40.

Dirección: Calle Larga 7-07 y Borrero
Teléfono: 071 283-3208 / +593 5937283
Email: internacional@cuencagub.ec

Exposiciones



Primer correo aereo del Ecuador

En la ciudad de Cuenca, en la Calle Larga y Presidente Borrero se encuentra la Casa Museo Remigio Crespo Toral que incluye obras relacionadas con la fundación de la ciudad, obras de arte de autores tradicionales como Honorato Vázquez, fotografías de la familia Crespo Toral, permitiendo además la exhibición de arte nacional y local contemporánea.

Salón tradicional Las instalaciones de la Casa Museo se asientan en la casa patrimonial reconstruida por la Administración del Alcalde del cantón Cuenca, Marcelo Cabrera, misma que perteneció a la familia de Remigio Crespo. La casa tiene acceso también desde la calle Paseo 3 de noviembre, desde donde se observa las orillas del Río Tomebamba y los tradicionales árboles de magrota y nogal.

La Casa Museo tiene 4 plantas en las que se exhibe la obra de Honorato Vázquez quien fue un paisajista y poeta cuencano, reliquias de los viajes de Elio Lutz quien fue el primer piloto en aterrizar en la ciudad y fotografías antiguas entre las que destaca la del centro histórico cuencano que posó 15 cuadras a la redonda, en los años 40.

Figura 14

Pantalla del museo. Fuente: Autores (2021)

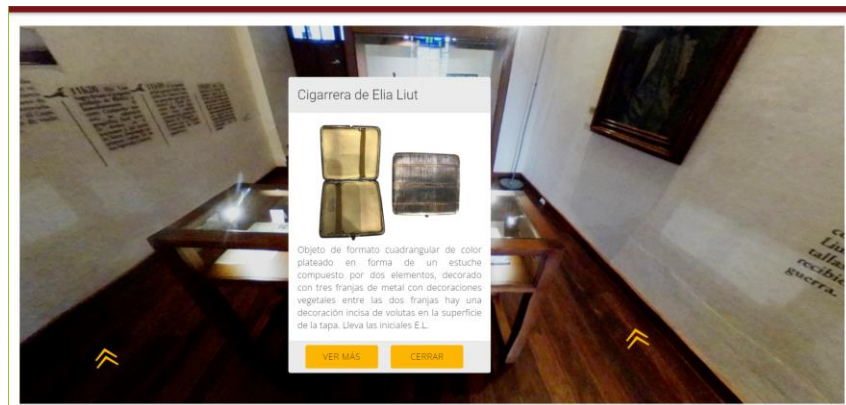


Figura 16

Tarjeta infográfica. Fuente: Autores (2021)

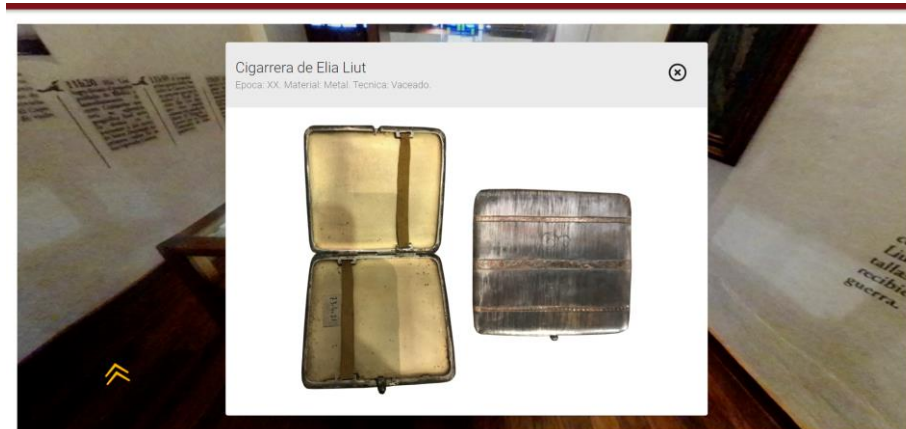


Figura 15

Tarjeta infográfica ampliada. Fuente: Autores (2021)

Tabla 14

Requerimientos resueltos, modificaciones y requerimientos nuevos

Requerimientos	Resuelto	Observación
<ul style="list-style-type: none"> La tercera pantalla debe mostrar las imágenes 360° de la exposición con una calidad de 4K 	SI	---



<ul style="list-style-type: none"> La tercera pantalla debe mostrar íconos, con tamaño proporcional a la pantalla, que permitan desplegar las tarjetas infográficas de los objetos seleccionados. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> Las tarjetas infográficas deben mostrar botones que permitan ampliar la información de los objetos y mostrar una imagen de mayor tamaño. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> La pantalla principal de la aplicación debe mostrar un listado de los museos existentes. El listado de museos debe presentarse de forma vertical. 	SI	La información de los museos debe adicionar el logotipo en blanco del museo.
<ul style="list-style-type: none"> La segunda pantalla presenta toda la información del museo seleccionado en la pantalla principal. 	SI	La información de los museos debe incluir: una fotografía de la fachada del museo, descripción general, recorridos virtuales.
<ul style="list-style-type: none"> La cabecera de todas las pantallas debe mostrar el logo tanto del GAD municipal como del museo. 	SI	Los logos mostrados deben ser de color blanco.
<ul style="list-style-type: none"> Se debe controlar la posición de profundidad de los elementos en la pantalla, durante el recorrido virtual. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> La aplicación debe mostrar una barra de progreso mientras se cargan las imágenes. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> El contenido debe cargarse a la aplicación de forma dinámica. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> Se utiliza Oracle XE como base de datos. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> Se utiliza Spring Boot (Java) para el backend. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> Se utiliza React Js para el frontend. 	SI	---
Nuevos Requerimientos		
<ul style="list-style-type: none"> La aplicación debe mostrar un carrusel con los recorridos virtuales correspondientes a un museo seleccionado. 	---	---
<ul style="list-style-type: none"> La aplicación debe mostrar un pie de página con la información general de la institución "Sistema de Museos" de la ciudad de Cuenca. 	---	---

5.5.3. Tercer ciclo VDDE

A continuación, se describe el tercer ciclo VDDE desarrollado en el caso de estudio.

5.5.3.1. Valoración

En esta subetapa se realizan las siguientes actividades:



- i) Los requerimientos se ordenan según la prioridad establecida por los representantes del museo y de la TICs del GAD municipal. También, se incorporan los nuevos requerimientos encontrados en el ciclo previo y las observaciones realizadas a los requerimientos existentes.
- ii) Se eligen los requerimientos que se van a cubrir durante el ciclo. Estas actividades se resumen la Tabla 15.

Tabla 15

Requerimientos funcionales y no funcionales en orden de prioridad

Requerimientos	Prioridad
<ul style="list-style-type: none">• La pantalla principal de la aplicación debe mostrar un listado de los museos existentes. El listado de museos debe presentarse de forma vertical e incluir el logotipo en blanco del museo.	<ul style="list-style-type: none">• ALTA
<ul style="list-style-type: none">• La aplicación debe mostrar un carrusel con los recorridos virtuales correspondientes a un museo seleccionado.	<ul style="list-style-type: none">• ALTA
<ul style="list-style-type: none">• La segunda pantalla presenta toda la información del museo seleccionado en la pantalla principal. Dicha información incluye: una fotografía de la fachada del museo, descripción general, recorridos virtuales.	<ul style="list-style-type: none">• MEDIA
<ul style="list-style-type: none">• La cabecera de todas las pantallas debe mostrar el logo de color blanco tanto del GAD municipal como del museo.	<ul style="list-style-type: none">• MEDIA
<ul style="list-style-type: none">• La aplicación debe mostrar un pie de página con la información general de la institución “Sistema de Museos” de la ciudad de Cuenca.	<ul style="list-style-type: none">• BAJA

El producto obtenido en esta subetapa es el listado de requerimientos de prioridad ALTA, MEDIA y BAJA que se cubrirán en el presente ciclo VDDE (Tabla 15).

5.5.3.2. Diseño

En esta subetapa se desarrollan dos actividades:

- i) Se diseñan las tareas de usuario, la interacción entre el usuario y la aplicación, y la GUI para hacer frente a los requerimientos seleccionados para el ciclo actual.
- ii) El diseño es presentado a los stakeholders para su evaluación. La retroalimentación recibida sirve para mejorar el diseño y descubrir nuevas necesidades del usuario.



Al terminar esta subetapa se tiene como producto el diseño de la aplicación. El diseño de la pantalla principal se muestra en la Figura 17, esta pantalla muestra el listado de museos existentes, donde el usuario puede seleccionar uno de ellos. La Figura 18 muestra los recorridos virtuales pertenecientes al museo seleccionado en la pantalla principal. En la Figura 20 se observa la tarjeta infográfica de uno de los recorridos virtuales (Sala Elia Liut) del museo. Finalmente, la Figura 19 muestra el diseño de la tarjeta infográfica ampliada, en donde se observa la información ampliada y la imagen de la pieza en un tamaño mayor.



Figura 17

Pantalla principal. Fuente: Autores (2021)

5.5.3.3. Desarrollo

En esta etapa se desarrollan las funcionalidades que permitan cubrir los requisitos de usuario seleccionados para el presente ciclo.



Información

En la ciudad de Cuenca, en la Calle Larga y Presidente Borrero se encuentra la Casa Museo Remigio Crespo Toral que incluye obras relacionadas con la fundación de la ciudad, obras de arte de autores tradicionales como Honorato Vázquez, fotografías de la familia Crespo Toral, permitiendo además la exhibición de arte nacional y local contemporánea.

Salón tradicional Las instalaciones de la Casa Museo se asientan en la casa patrimonial reconstruida por la Administración del Alcalde del cantón Cuenca, Marcelo Cabrera, misma que perteneció a la familia de Remigio Crespo. La casa tiene acceso también desde la calle Paseo 3 de Noviembre, desde donde se observa las orillas del Río Tomebamba y los tradicionales árboles de magnolia y nogal.

La Casa Museo tiene 4 plantas en las que se exhibe la obra de Honorato Vázquez quien fue un paisajista y poeta cuencano, reliquias de los viajes de Elia Liut quien fue el primer piloto en aterrizar en la ciudad y fotografías antiguas entre las que destaca la del centro histórico cuencano que poseía 15 cuadras a la redonda, en los años 40.

Dirección: Calle Larga 7-07 y Borrero
Teléfono: (071)283-3208 / +593 5937283
Email: internacion@cuencia.gob.ec

Recorridos virtuales

Virtual tour interface for 'Elia Liut' featuring an image of an exhibit case and descriptive text about the first post office in Ecuador.

Figura 18

Pantalla del museo. Fuente: Autores (2021)

5.5.3.4. Evaluación



En esta subetapa se realizan las siguientes actividades:

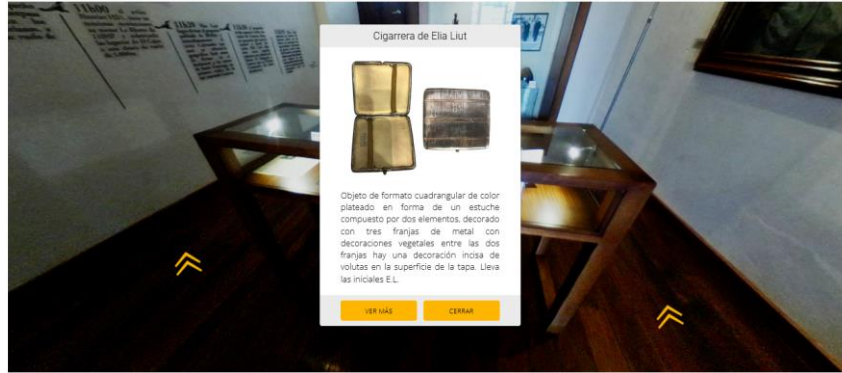
- v) Los stakeholders realizan pruebas de la aplicación con el propósito de verificar y validar los requerimientos de usuario.
- vi) Se obtiene retroalimentación de los stakeholders a través del análisis de los resultados obtenidos de las pruebas.

En la Tabla 16 se observa el listado de requerimientos resueltos en el presente ciclo y el listado de requerimientos a modificar.

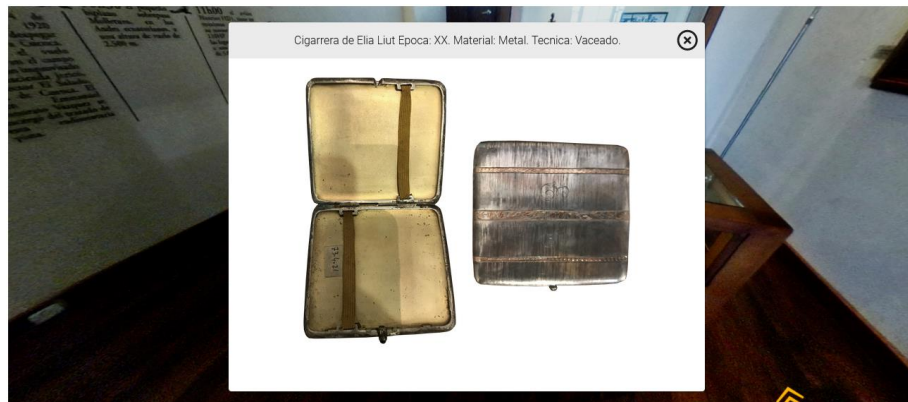
Tabla 16

Requerimientos resueltos y modificaciones

Requerimientos	Resuelto	Observación
<ul style="list-style-type: none"> • La pantalla principal de la aplicación debe mostrar un listado de los museos existentes. El listado de museos debe presentarse de forma vertical e incluir el logotipo en blanco del museo. 	SI	Debe existir mayor espacio entre todo el contenido y los bordes de la pantalla.
<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación debe mostrar un carrusel con los recorridos virtuales correspondientes a un museo seleccionado. 	SI	Se requiere un carrusel con fotografías del museo. Y una tarjeta para cada uno de los recorridos virtuales del museo.
<ul style="list-style-type: none"> • La segunda pantalla presenta toda la información del museo seleccionado en la pantalla principal. Dicha información incluye: una fotografía de la fachada del museo, descripción general, recorridos virtuales. 	SI	---
<ul style="list-style-type: none"> • La cabecera de todas las pantallas debe mostrar el logo de color blanco tanto del GAD municipal como del museo. 	SI	Se reemplaza el logo del GAD municipal y la Dirección de Cultura por un ícono que redireccione al usuario a la página inicial de la aplicación.
<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación debe mostrar un pie de página con la información general de la institución "Sistema de Museos" de la ciudad de Cuenca. 	SI	Se reemplaza el texto del pie de página por dos logos: GAD municipal y Dirección de Cultura.

**Figura 20**

Tarjeta infográfica. Fuente: Autores (2021)

**Figura 19**

Tarjeta infográfica ampliada. Fuente: Autores (2021)

5.6. Cierre del proyecto

En esta etapa intervienen todas las partes interesadas: representante del EE, el equipo de desarrollo, representante de la TICs del GAD municipal y representante de la Dirección de Cultura, los mismos que verifican que el cumplimiento de los requerimientos y aprueban el cierre del proyecto. La aplicación finalizada se entrega al representante de la TICs del GAD municipal. Además, se elabora y entrega (al representante de la TICs) la siguiente documentación: manual técnico y manual de usuario, que muestra en el Anexo 2 y Anexo 3, respectivamente. Una vez revisado el proyecto, se



emitió un informe por parte de la Dirección de Cultura, Recreación y Conocimiento (Anexo 4), este informe da por finalizado dicho proyecto.



Capítulo 6: Evaluación de la metodología

Con base en los pasos planteados por Wohlin et al., (2012) en este capítulo se realiza la evaluación empírica de la metodología propuesta en este trabajo de titulación. Para ello, se realizan dos cuasi-experimentos, el primero consiste en la evaluación empírica de la fase de Recolección de Datos de la metodología propuesta y tiene el propósito de evaluar el rendimiento y las percepciones de los usuarios al utilizar la metodología. El segundo cuasi-experimento consiste en la evaluación de la usabilidad del prototipo desarrollado para el caso de estudio de este trabajo, esto con el objetivo de conocer las percepciones de los usuarios frente al uso del prototipo. Para cada uno de los cuasi-experimentos, en este capítulo se describen: la planificación, contexto, ejecución, el análisis e interpretación, la presentación y empaquetado de resultados, y las amenazas a la validez de los resultados.

6.1. Evaluación empírica de la fase de recolección de datos de la metodología

6.1.1. *Plan experimental*

Para la evaluación de la metodología se utiliza el Modelo de Evaluación de Métodos (*MEM – Method Evaluation Model en inglés*) propuesto por Moody, (2001), que tiene como base el Modelo de Aceptación de Tecnología (*TAM – Technology Acceptance Model en inglés*) propuesto por Davis, (1986). MEM adapta los constructos del modelo TAM para llevarlos del contexto de las tecnologías al contexto de los métodos.

MEM contiene constructos y relaciones causales (ver Figura 21) descritas a continuación:

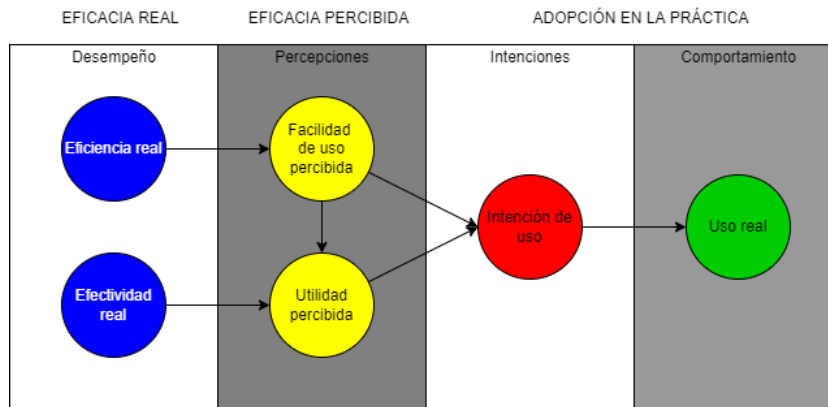


Figura 21

Modelo MEM. Fuente: Adaptada de (Moody, 2001)

i) Eficacia real:

- a. Eficiencia real: el esfuerzo requerido para aplicar un método; puede ser medido con métricas de entrada, como tiempo, costo o esfuerzo.
- b. Efectividad real: el grado en que un método logra sus objetivos, puede ser medido con métricas de salida como la evaluación de la cantidad y/o calidad de los resultados.

ii) Eficacia percibida:

- a. Facilidad de uso percibida: el grado en el que una persona cree que utilizar un método en particular no supondría ningún esfuerzo.
- b. Utilidad percibida: el grado en el que una persona cree que un método en particular será eficaz para lograr los objetivos previstos.

iii) Adopción en la práctica:

- a. Intención de uso: la medida en que una persona tiene la intención de usar un método en particular.
- b. Uso real: el grado en que se usa un método en la práctica.

6.1.1.1. Objetivo

Según el paradigma Objetivo-Pregunta-Métrica (*GQM – Goal Question Metric en inglés*) planteado por Basili, (1992), el objetivo de la evaluación empírica se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17***Objetivo de la evaluación empírica de la metodología*

Analizar:	La etapa de recolección de datos de la metodología para el desarrollo de una aplicación XR para un espacio expositivo.
Con el propósito de:	Evaluarla
Con respecto a:	El rendimiento respecto a la eficiencia real y las percepciones respecto a la eficacia percibida y la adopción en la práctica; frente al uso de la metodología en el proceso de recolección de datos planteado en la fase de recolección de datos.
Desde el punto de vista de:	El investigador.
En el contexto de:	Estudiantes de Ingeniería de Sistemas recolectando datos.

6.1.1.2. Preguntas de investigación

De acuerdo con el objetivo de evaluación, se plantean las siguientes preguntas de investigación (PI):

- PI1: ¿El proceso presentado para la recolección de datos es percibido como fácil de usar y útil? De ser así, ¿las percepciones de los participantes son el resultado de su rendimiento al llevar a cabo la actividad?
- PI2: ¿Existe una intención de uso del proceso presentado en el futuro? De ser así, ¿estas intenciones de uso son el resultado de las percepciones de los usuarios?

6.1.1.3. Hipótesis de investigación

Con el propósito de evaluar las preguntas de investigación se establecen las hipótesis de investigación mostradas en la Tabla 18. Las hipótesis nulas, que se representan por el subíndice cero, corresponden a la ausencia de un efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes.

Tabla 18*Hipótesis de investigación para la evaluación de la metodología*

Hipótesis	Descripción
$H1_0$	La tarea de recolección de datos de la metodología es percibida como difícil de usar. $H1_0 \neg H1_1$
$H2_0$	La tarea de recolección de datos de la metodología no es percibida como un proceso útil. $H2_0 \neg H2_1$
$H3_0$	No existe intención de usar el proceso de recolección de datos de la metodología en el futuro. $H3_0 \neg H3_1$



$H4_0$	La facilidad de uso percibida no está determinada por la eficiencia real.	$H4_0 \neg H4_1$
$H5_0$	La utilidad percibida no está determinada por la efectividad real.	$H5_0 \neg H5_1$
$H6_0$	La utilidad percibida no está determinada por la facilidad de uso percibida.	$H6_0 \neg H6_1$
$H7_0$	La intención de uso no está determinada por la facilidad de uso percibida.	$H7_0 \neg H7_1$
$H8_0$	La intención de uso no está determinada por la utilidad percibida.	$H8_0 \neg H8_1$

La pregunta PI1 está soportada por las hipótesis: H1, H2, H4 y H5. La pregunta PI2 está soportada por las hipótesis: H3, H6, H7 y H8.

6.1.1.4. Variables y métricas

Las variables independientes, variables dependientes y métricas consideradas en este cuasi-experimento se definen a continuación.

6.1.1.4.1. Variables independientes

Para este cuasi-experimento se considera como variable independiente la etapa de recolección de datos de la metodología.

6.1.1.4.2. Variables dependientes y métricas

Se consideran las siguientes variables dependientes y métricas:

i) En cuanto al rendimiento:

a) Eficiencia real: tiempo empleado para terminar una tarea.

$$eficiencia\ real = \sum_{i=1}^n tiempo\ que\ le\ toma\ al\ usuario\ terminar\ una\ tarea_i$$

b) Efectividad real: proporción entre la cantidad de las tareas ejecutadas correctamente y el número total de tareas.

$$efectividad\ real = \frac{\sum_{i=1}^n Tarea_i\ ejecutada\ correctamente}{n}$$

ii) En cuanto a las percepciones:

a) Facilidad de Uso Percibida (FUP)

b) Utilidad Percibida (UP)

c) Intención de Uso (IU)



Para medir estas variables dependientes se plantean una serie de preguntas definidas en la Tabla 19. Estas preguntas son medidas en una escala de 5 puntos de Likert.

Tabla 19

Cuestionario para medir las variables dependientes relacionadas con las percepciones

Pregunta	Declaración
FUP1	La fase de recolección de datos de la metodología es sencilla y fácil de seguir.
FUP2	En general, el proceso a seguir para la recolección de datos es fácil de entender.
FUP3	Los pasos por seguir para realizar la recolección de datos son claros y fáciles de entender.
FUP4	En general, el proceso de recolección de datos es fácil de aprender.
FUP5	Considero que sería fácil de usar la guía para la recolección de datos.
UP1	Considero que la fase de recolección de datos reduciría el tiempo y esfuerzo requerido para desarrollar aplicaciones XR para espacios expositivos.
UP2	Pienso que la guía establecida para la recolección de datos es útil.
UP3	En general, considero que la fase de recolección de datos es útil.
UP4	Pienso que la actividad realizada es lo suficientemente significativa para definir cómo se realiza la recolección de datos en una aplicación XR para espacios expositivos.
UP5	El uso de la guía mejoraría mi rendimiento en la recolección de datos durante el desarrollo de una aplicación XR para espacios expositivos.
UP6	En general, creo que con el uso de la guía puedo recolectar datos de una manera adecuada.
IU1	Si tuviera que recolectar datos para una aplicación XR, utilizaría la fase de recolección de datos de la metodología.
IU2	En caso de necesitar recolectar datos para una aplicación XR para un espacio expositivo, tendría la intención de utilizar este proceso en el futuro.
IU3	Recomendaría seguir esta fase para la recolección de datos para aplicaciones XR.

Adicionalmente, se plantean dos preguntas abiertas (PA) sobre sugerencias, las mismas que sirven de apoyo para mejorar la fase de recolección de datos durante el desarrollo de aplicaciones XR para espacios expositivos. Estas preguntas se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20

Preguntas abiertas del cuestionario

Pregunta	Declaración
PA1	¿Tiene alguna sugerencia sobre cómo realizar la fase de recolección de datos de manera más fácil?
PA2	¿Cuáles son las razones por las que tiene o no la intención de usar la guía para la recolección de datos durante el desarrollo de aplicaciones XR para espacios expositivos?



6.1.2. Contexto experimental

6.1.2.1. Selección de la muestra

El cuasi-experimento se llevó a cabo en el mes de diciembre de 2021, con una muestra de 32 participantes, 4 de género femenino, 27 de género masculino y 1 participante que prefiere no decirlo; con una edad promedio de 24 años. Los participantes son estudiantes de noveno semestre de la escuela de Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. De la muestra seleccionada el 43.8% tienen experiencia entre 1-2 años en el desarrollo de software; el 59.4% de los participantes tienen algo de experiencia en el uso de metodologías de desarrollo de software; y el 90.6% no tienen experiencia alguna en el desarrollo de aplicaciones de realidad extendida. Por otra parte, el 81.3% de la muestra ha realizado alguna visita presencial a un espacio expositivo en los últimos cinco años y el 46.9% han realizado alguna visita virtual a un espacio expositivo.

6.1.2.2. Tareas

Se plantearon dos ejemplos de espacios expositivos: Museo Municipal Remigio Crespo Toral y Museo Municipal de Arte Moderno, utilizados para la sesión de capacitación y para el cuasi-experimento, respectivamente. Cada uno de estos ejemplos consta de:

- i) Una descripción que tiene el propósito de explicar al participante el contexto del espacio expositivo. Esta descripción consta de un video explicativo sobre el espacio expositivo y una descripción textual que provee información acerca de los requerimientos de los usuarios.
- ii) Una hoja de cálculo que contiene la información necesaria referente a las piezas expositivas sobre las que se desarrollará el cuasi-experimento. Esta información consiste en los atributos más relevantes de las piezas expositivas, información sobre los responsables de las piezas y las observaciones necesarias para llevar a cabo el cuasi-experimento.
- iii) Una plantilla con las tablas necesarias para que el participante puede completar cada uno de los pasos del cuasi-experimento.

6.1.3. Procedimiento experimental

6.1.3.1. Experimento piloto

Antes de realizar el cuasi-experimento, se realizó un plan piloto con la participación de dos expertos en el área de Ingeniería de Software. Esta sesión se realizó con el propósito de validar los instrumentos que serán utilizados a lo largo del cuasi-experimento. Los expertos realizaron las tareas



que los participantes del cuasi-experimento deben realizar y utilizaron los instrumentos descritos en la sección de Tareas. Esta sesión tuvo una duración de 36 minutos en promedio.

6.1.3.2. Sesión de capacitación

Se elaboró una presentación para introducir a los participantes en el tema de este trabajo de titulación, en esta presentación se describen las etapas de la metodología propuesta y se realiza la capacitación acerca del uso de la etapa de Recolección de Datos de la metodología, a través de un ejemplo práctico (Museo Municipal Remigio Crespo Toral). Esta sesión se realizó de forma virtual, a través de una videoconferencia y tuvo una duración de 35 minutos.

6.1.3.3. Sesión cuasi-experimental

En esta sesión los participantes pusieron en práctica la metodología para realizar la recolección de datos del Museo Municipal de Arte Moderno. Por motivos de movilidad, un grupo de 7 participantes realizaron el cuasi-experimento de forma virtual y los 25 participantes restantes lo realizaron de forma presencial, en una sala de cómputo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Para este fin, se preparó una guía en Google Forms, la cual se dividió en las siguientes tres secciones:

- i) Encuesta demográfica: consta de nueve preguntas que tienen la finalidad de conocer detalles demográficos de la muestra.
- ii) Desarrollo del cuasi-experimento: en esta sección, los participantes siguen una serie de pasos para llevar a cabo la etapa de recolección de datos de la metodología. Dichos pasos son:
 - a. Reconocimiento de las áreas de interés: los participantes usan la descripción del museo provista para reconocer el contexto actual del museo.
 - b. Selección de las piezas expositivas: los participantes usan la hoja de cálculo y la plantilla provista, para obtener información de las piezas expositivas y realizar la selección de estas.
 - c. Recolección de datos de las piezas expositivas: los participantes utilizan las tablas provistas en la plantilla para completar la información acerca de la estructura de los datos, los instrumentos, horario y permisos requeridos para realizar la recolección de datos.

Adicionalmente, los participantes registraron la hora de inicio y la hora de finalización del cuasi-experimento.



- iii) Cuestionario posterior al cuasi-experimento: con el objetivo de analizar las percepciones de los participantes, estos completaron un cuestionario de catorce preguntas cerradas (medidas con la escala de Likert de cinco puntos) y dos preguntas abiertas (utilizadas para recolectar sugerencias de los participantes que ayuden a mejorar la metodología).

6.1.3.4. Recolección de datos y tabulación

Al finalizar el cuasi-experimento se recolectó de forma manual los datos necesarios para las variables dependientes:

- i) Eficiencia: se calculó manualmente el tiempo empleado para terminar el cuasi-experimento.
- ii) Efectividad: se analizaron manualmente las respuestas de los participantes para determinar si cada una de las tareas se realizó correctamente.
- iii) Satisfacción de usuario: los resultados del cuestionario posterior al cuasi-experimento se analizaron con la ayuda de la herramienta Google Forms.

6.1.4. Análisis e interpretación de resultados

En esta sección se efectúa el análisis de los resultados obtenidos respecto al rendimiento y las percepciones del participante con respecto a las variables de estudio. El análisis se realizó con el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (*SPSS – Statistical Product and Service Solutions en inglés*) v28.0.1.0.

6.1.4.1. Análisis de las percepciones del usuario

Las preguntas del cuestionario utilizado para evaluar las percepciones de los participantes se agrupan de acuerdo con las variables dependientes planteadas en la sección Variables y métricas y se describen en la Tabla 21.

Tabla 21

Variables dependientes para la evaluación de percepciones de los participantes

Variable	Descripción
FUP	Grado en el cual los participantes creen que la metodología es fácil de utilizar.
UP	Grado en el cual los participantes creen que la metodología es útil.
IU	Grado en el cual los participantes tienen la intención de utilizar la metodología en el futuro.



La Figura 22 presenta el diagrama de caja y bigotes para cada una de estas variables, las cuales se miden con una escala de Likert de cinco puntos (1-5) donde 1 representa el valor más bajo, 3 representa el valor neutro y 5 el valor más alto. Como se observa en el diagrama correspondiente a la FUP, existe un valor atípico el mismo que será descartado para análisis posteriores. Una vez descartado este valor atípico, se ejecutó un segundo análisis y se observó que existe un segundo valor atípico en la variable IU, este valor también es descartado.

Debido a que la muestra de este cuasi-experimento es de $n < 50$ se utiliza la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. La Tabla 22 presenta un resumen de los valores estadísticos y de la prueba de Shapiro-Wilk para cada una de las variables. Cuando la muestra tiene un valor de $p < 0.05$, significa que la muestra no tiene una distribución normal, por lo tanto, se aplica la prueba de Wilcoxon para determinar su significancia. Caso contrario, con $p > 0.05$, la muestra tiene una distribución normal y se aplica la prueba T-Student. Tanto para la prueba de Wilcoxon como para T-Student,

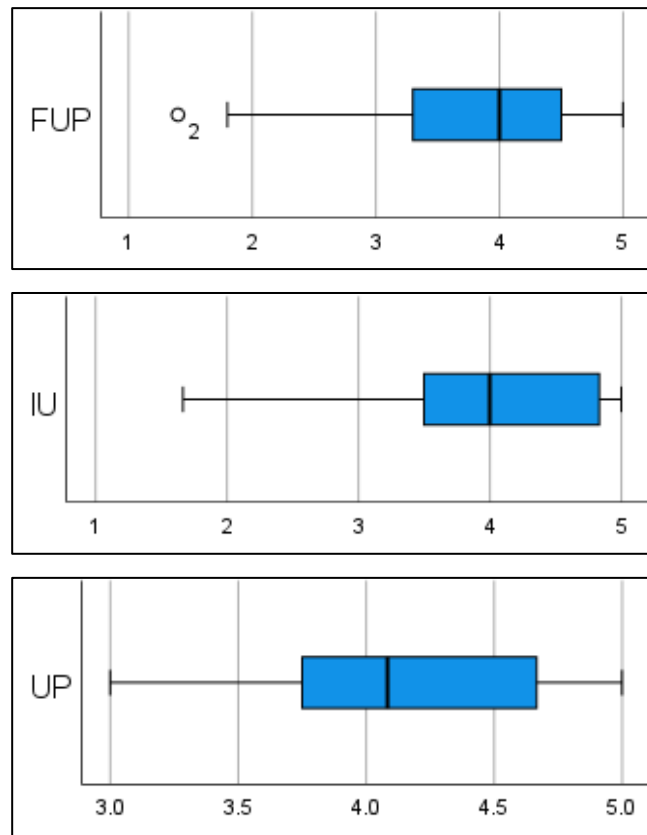


Figura 22

Diagrama de caja y bigotes de las variables dependientes. Fuente: Autores (2021)



cuando el valor de significancia es mayor que 0.05 se dice que la hipótesis es aceptada. Caso contrario, cuando la significancia es menor que 0.05, la hipótesis es rechazada.

Tabla 22

Estadística descriptiva para las variables dependientes correspondientes a la percepción de los participantes

Variable	Min	Max	Media	Mediana	Desviación estándar	Shapiro-Wilk: p
FUP	2.20	5.00	4.26	4.00	0.79	0.133
UP	3.00	5.00	4.20	4.25	0.61	0.073
IU	3.00	5.00	4.10	4.00	0.68	0.004

Los valores de significancia obtenidos para cada una de las variables se muestran en la Tabla 23. Con base en esto, se puede concluir que las hipótesis $H1_0$, $H2_0$ y $H3_0$ son rechazadas, por lo tanto:

- i) El proceso presentado para la metodología propuesta fue percibido como fácil de usar por parte de los participantes.
- ii) El proceso presentado para la metodología propuesta fue percibido como útil por parte de los participantes.
- iii) Los participantes tienen la intención de utilizar a futuro el proceso presentado para la metodología propuesta.

Estos resultados indican que existe una probabilidad alta de que el proceso de recolección de datos de la metodología sea aceptado en la práctica.

Tabla 23

Significancias para las variables dependientes

Variable	Prueba aplicada	Significancia
FUP	T-Student	0.001
UP	T-Student	0.001
IU	Wilcoxon	0.001

6.1.4.2. Análisis de rendimiento del participante

La Figura 23 presenta el diagrama de caja y bigotes para las variables dependientes que evalúan el rendimiento, estas variables se miden con una escala de Likert de cinco puntos (1-5) donde



1 representa el valor más bajo, 3 representa el valor neutro y 5 el valor más alto. Como se observa en la figura, existe un valor atípico tanto en el diagrama correspondiente a la eficiencia como al de la efectividad, los mismos que serán descartados para análisis posteriores. Una vez descartado este valor atípico, se ejecutó un segundo análisis y se observó que existe un segundo valor atípico en la variable de efectividad, este valor también es descartado.

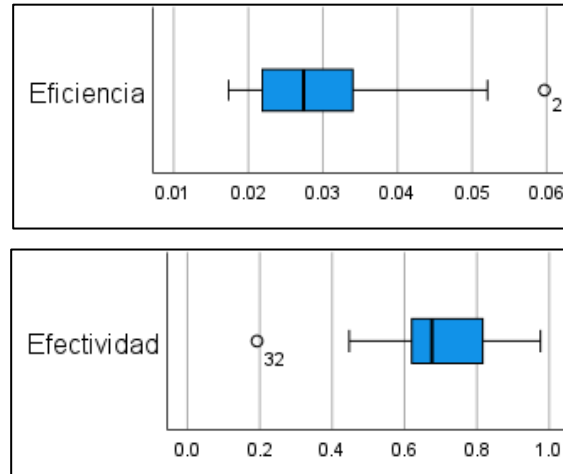


Figura 23

Diagrama de caja y bigotes de las variables dependientes de rendimiento. Fuente: Autores (2021)

La Tabla 24 presenta un resumen de los valores estadísticos y de la prueba de Shapiro-Wilk para cada una de las variables. El valor de p obtenido para ambas variables es mayor que 0.05, lo que significa que la muestra tiene una distribución normal.

Tabla 24

Variables dependientes para la evaluación de rendimiento de los participantes

Variable	Mín	Max	Media	Mediana	Desviación estándar	Shapiro-Wilk: p
Eficiencia	25	56	38.55	39	8.87	0.076
Efectividad	0.45	0.98	0.77	0.69	0.14	0.345

Con base en estos valores, se puede concluir que:



- iv) La eficiencia de los participantes tiene un valor mínimo de 25 minutos, un valor máximo de 56 minutos y una mediana de 39 minutos. Según el plan piloto realizado por expertos antes del cuasi-experimento el tiempo esperado es de 36 minutos.
- v) La efectividad de los participantes tiene un valor mínimo de 45%, un valor máximo de 98% y una mediana de 69%.

Los resultados obtenidos por los participantes pueden variar dependiendo de la experiencia que tengan en el proceso de recolección de datos, uso de metodologías de desarrollo, desarrollo de aplicaciones XR y conocimiento general sobre XR.

6.1.4.3. Análisis de las relaciones causales

En esta sección se establecen las relaciones causales entre las variables planteadas por el MEM. Estas relaciones causales son evaluadas utilizando un análisis de regresión, en donde un valor de significancia de $p < 0.01$ indica que la relación entre las variables está confirmada (Moody, 2001). En este análisis se aplican modelos de regresión lineal y polinómica, siendo la regresión lineal el modelo que mejor se ajusta a los datos analizados.

6.1.4.3.1. Eficiencia vs Facilidad de Uso Percibida

Los resultados del modelo de regresión lineal obtenido para estas variables se resumen en la Tabla 25. La ecuación de esta regresión es la siguiente:

$$FUP = Constante[Coef. (b)] + Eficiencia[Coef. (b)] * Eficiencia$$

$$FUP = 4.695 + (-0.019) * Eficiencia$$

Tabla 25

Regresión lineal entre Eficiencia y FUP

Elemento	Coef.: b	Std. E	Std. Coef.	t	Sig.: p	R	R ²
Constante	4.695	0.676		6.947	< 0.001		
Eficiencia	-0.019	0.017	-0.208	-1.107	0.278	0.208	0.043

El valor de $p > 0.01$ para la eficiencia indica que la relación causal no es significativa. R² determina que la eficiencia permite explicar el 4.3% de la varianza de la FUP. Por lo tanto, se concluye que la eficiencia real en este cuasi-experimento no influye en la percepción de la facilidad de uso de los participantes, es decir, se acepta la H_{40} : La facilidad de uso percibida no está determinada por la eficiencia real.

**6.1.4.3.2. Efectividad vs Utilidad Percibida**

Los resultados del modelo de regresión lineal obtenido para estas variables se resumen en la Tabla 26. La ecuación de esta regresión es la siguiente:

$$UP = Constante [Coef. (b)] + Efectividad [Coef. (b)] * Efectividad$$

$$UP = 4.155 + (0.080) * Efectividad$$

Tabla 26

Regresión lineal entre Efectividad y UP

Elemento	Coef.: b	Std. E	Std. Coef.	t	Sig.: p	R	R ²
Constante	4.155	0.622		6.685	< 0.001		
Efectividad	0.080	0.850	0.018	0.094	0.926	0.018	0.000

El valor de $p > 0.01$ para la efectividad determina que la relación causal no es significativa. R² indica que la efectividad no permite explicar la varianza de la UP. Por lo tanto, se concluye que la efectividad real en este cuasi-experimento no influye en la utilidad percibida por los participantes, es decir, se acepta la $H5_0$: La utilidad percibida no está determinada por la efectividad real.

6.1.4.3.3. Facilidad de Uso Percibida vs Utilidad Percibida

Los resultados del modelo de regresión lineal obtenido para estas variables se resumen en la Tabla 27. La ecuación de esta regresión es la siguiente:

$$UP = Constante [Coef. (b)] + FUP [Coef. (b)] * FUP$$

$$UP = 2.085 + (0.537) * FUP$$

Tabla 27

Regresión lineal entre FUP y UP

Elemento	Coef.: b	Std. E	Std. Coef.	t	Sig.: p	R	R ²
Constante	2.085	0.430		4.850	< 0.001		
FUP	0.537	0.106	0.697	5.047	< 0.001	0.697	0.485

El valor de $p < 0.01$ para la FUP indica que la relación causal es significativa, R² determina que la FUP permite explicar el 48.5% de la varianza de la UP. Por lo tanto, se concluye que la FUP en este cuasi-experimento influye en la utilidad percibida por los participantes, es decir, se rechaza la $H6_0$ y se acepta la hipótesis alternativa $H6_1$: La utilidad percibida está determinada por la facilidad de uso percibida.

**6.1.4.3.4. Intención de Uso vs Facilidad de Uso Percibida**

Los resultados del modelo de regresión lineal obtenido para estas variables se resumen en la Tabla 28. La ecuación de esta regresión es la siguiente:

$$IU = Constante [Coef. (b)] + FUP [Coef. (b)] * FUP$$

$$IU = 1.534 + (0.648) * FUP$$

Tabla 28

Regresión lineal entre IU y FUP

Elemento	Coef.: b	Std. E	Std. Coef.	t	Sig.: p	R	R ²
Constante	1.534	0.445		3.444	0.002		
FUP	0.648	0.110	0.749	5.882	< 0.001	0.749	0.562

El valor de $p < 0.01$ para la FUP indica que la relación causal es significativa. R^2 determina que la FUP permite explicar el 56.2% de la varianza de la IU. Por lo tanto, se concluye que la FUP en este cuasi-experimento influye en la intención de uso de los participantes, es decir, se rechaza la $H7_0$ y se acepta la hipótesis alternativa $H7_1$: La intención de uso está determinada por la facilidad de uso percibida.

6.1.4.3.5. Intención de Uso vs Utilidad Percibida

Los resultados del modelo de regresión lineal obtenido para estas variables se resumen en la Tabla 29. La ecuación de esta regresión es la siguiente:

$$IU = Constante [Coef. (b)] + UP [Coef. (b)] * UP$$

$$IU = 0.616 + (0.828) * UP$$

Tabla 29

Regresión lineal entre IU y UP

Elemento	Coef.: b	Std. E	Std. Coef.	t	Sig.: p	R	R ²
Constante	0.616	0.621		0.992	0.330		
UP	0.828	0.146	0.737	5.672	< 0.001	0.737	0.544

El valor de $p < 0.01$ para la UP indica que la relación causal es significativa. R^2 determina que la UP permite explicar el 54.4% de la varianza de la IU. Por lo tanto, se concluye que la UP en este cuasi-experimento influye en la intención de uso de los participantes, es decir, se rechaza la $H8_0$ y se acepta la hipótesis alternativa $H8_1$: La intención de uso está determinada por la utilidad percibida.



6.1.4.4. Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos en el cuasi-experimento se resumen en la Tabla 30. Con base en estos resultados, se responden las preguntas de investigación planteadas a inicio del cuasi-experimento:

- PI1: ¿El proceso presentado para la recolección de datos es percibido como fácil de usar y útil? De ser así, ¿las percepciones de los participantes son el resultado de su rendimiento al llevar a cabo la actividad? El proceso de recolección de datos fue percibido por los participantes como fácil de usar y útil, esto se determina a través del rechazo de las hipótesis nulas $H1_0$ y $H2_0$, respectivamente. Por otra parte, debido a que las hipótesis nulas $H4_0$ y $H5_0$ fueron aceptadas, se determina que las percepciones de los participantes no son resultado de su rendimiento (eficiencia y efectividad) al llevar a cabo la actividad.
- PI2: ¿Existe una intención de uso del proceso presentado en el futuro? De ser así, ¿estas intenciones de uso son el resultado de las percepciones de los usuarios? Debido a que la hipótesis nula $H3_0$ fue rechazada, se establece que existe intención de uso en el futuro para el proceso de recolección de datos de la metodología. Además, ya que las hipótesis nulas $H6_0$, $H7_0$ y $H8_0$ fueron rechazadas, se determina que: en primero lugar, la utilidad percibida está determinada por la facilidad de uso percibida. En segundo lugar, la intención de uso está determinada tanto por la facilidad de uso percibida como por la utilidad percibida.

Tabla 30

Resumen de resultados del cuasi-experimento para evaluar la metodología

Pregunta de investigación	Hipótesis	Significancia	Acción	Resultados
PI1	$H1_0$	$p < 0.001$	Rechazada	El proceso de recolección de datos de la metodología es fácil de usar.
	$H2_0$	$p < 0.001$	Rechazada	El proceso de recolección de datos de la metodología es útil.
	$H4_0$	$p > 0.001$	Aceptada	La facilidad de uso percibida no está determinada por la eficiencia real.
	$H5_0$	$p > 0.001$	Aceptada	La utilidad percibida no está determinada por la efectividad real.



PI2	$H3_0$	$p < 0.001$	Rechazada	Existe intención de uso del proceso de recolección de datos de la metodología.
	$H6_0$	$p < 0.001$	Rechazada	La utilidad percibida está determinada por la facilidad de uso percibida.
	$H7_0$	$p < 0.001$	Rechazada	La intención de uso está determinada por la facilidad de uso percibida.
	$H8_0$	$p < 0.001$	Rechazada	La intención de uso está determinada por la utilidad percibida.

6.1.5. Presentación y empaquetado de resultados

En esta sección se presentan los resultados del cuestionario completado por los participantes al finalizar el cuasi-experimento. Estos resultados se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Resultados del cuestionario acerca de las percepciones de los participantes

Variable	Pregunta	Escala de Likert				
		1	2	3	4	5
FUP	1	6%	6%	25%	38%	25%
	2	3%	9%	19%	41%	28%
	3	3%	10%	22%	34%	31%
	4	0%	9%	19%	38%	34%
	5	3%	13%	19%	34%	31%
UP	6	3%	6%	13%	34%	44%
	7	0%	3%	15%	41%	41%
	8	0%	0%	3%	53%	44%
	9	0%	3%	38%	28%	31%
	10	3%	0%	16%	44%	37%
	11	0%	0%	19%	40%	41%
IU	12	3%	0%	35%	31%	31%
	13	3%	0%	22%	47%	28%



14	0%	0%	22%	44%	34%
----	----	----	-----	-----	-----

A continuación, se detallan los resultados más significativos:

En relación con las preguntas destinadas a evaluar la FUP, el 38% de los participantes están de acuerdo con que la fase de recolección de datos de la metodología es sencilla y fácil de seguir. El 41% están de acuerdo con que el proceso de recolección de datos es fácil de aprender, el 34% de los participantes concuerdan con que el proceso planteado es claro y fácil de entender. El 38% están de acuerdo con que el proceso es fácil de aprender y el 34% están de acuerdo con que resultaría fácil usar la guía para la recolección de datos.

Con respecto a las preguntas definidas para evaluar la UP, el 44% de los participantes están en total acuerdo con que la fase de recolección de datos reduciría el tiempo y esfuerzo requerido para desarrollar aplicaciones XR para espacios expositivos. El 41% están de acuerdo y el 41% están en total acuerdo con que la guía establecida para la recolección de datos es útil. Mientras que el 53% están de acuerdo con que la fase de recolección de datos es útil. El 38% de los participantes mantienen una posición neutra respecto a que la actividad realizada es lo suficientemente significativa para definir cómo se realiza la recolección de datos en una aplicación XR para espacios expositivos. Además, el 44% de los participantes están de acuerdo con que al usar la guía mejorarían su rendimiento en la recolección de datos para aplicaciones XR y el 41% están en total acuerdo con que el uso de la guía permite recolectar los datos de una manera adecuada.

Por su parte, las preguntas destinadas a evaluar la IU indican que el 35% de los participantes mantiene una posición neutra con respecto a utilizar la fase de recolección de datos de la metodología en el futuro. El 47% están de acuerdo con que utilizarían el proceso planteado en el futuro. Finalmente, el 44% de los participantes están de acuerdo con recomendar la fase de recolección de datos para aplicaciones XR.

6.1.6. Amenazas a la validez

En esta sección se describen los problemas que pueden afectar la validez del cuasi-experimento. Para ello, se consideran los cuatro tipos de validez propuestos por Campbell & D Cook, (1979) los cuales son: validez de la conclusión estadística, validez interna, validez de constructo y validez externa.



6.1.6.1. Validez de la conclusión estadística

Los métodos estadísticos seleccionados para el análisis pueden afectar la validez de la conclusión. Para hacer frente a esto, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si la muestra tiene una distribución normal; la prueba de Wilcoxon y la prueba T-Student se usaron para determinar la significancia de las variables y determinar si las hipótesis son o no aceptadas. Por otra parte, se realizaron pruebas con diferentes modelos de regresión para poder seleccionar el modelo que se ajusta mejor a los datos de este cuasi-experimento.

6.1.6.2. Validez interna

La validez interna puede verse afectada por el conocimiento y experiencia que tienen los participantes. Para este cuasi-experimento el 59.4% de los participantes aseguran tener algo de experiencia en el uso de metodologías de desarrollo de software y el 90.6% poseen ninguna experiencia en el desarrollo de aplicaciones XR. Este aspecto es cubierto en la sesión de capacitación realizada antes de la ejecución del cuasi-experimento.

6.1.6.3. Validez de constructo

La amenaza identificada para este tipo de validez hace referencia la confiabilidad del cuestionario utilizado para evaluar las percepciones de los usuarios. En este sentido, el cuestionario fue validado por dos expertos, en una sesión piloto realizada antes de la ejecución del cuasi-experimento.

6.1.6.4. Validez externa

Este tipo de validez hace referencia a la capacidad de generalizar los resultados del cuasi-experimento en diferentes contextos. Para ello, se ha definido una guía sencilla que muestra paso a paso las tareas a realizar en el cuasi-experimento. Los ejemplos utilizados en el cuasi-experimento tienen características similares en cuanto al tipo de espacio expositivo y al tipo de tecnología XR utilizada, por lo tanto, no se debe generalizar a otros contextos. Se propone como trabajo futuro replicar este trabajo para analizar contextos diferentes.

6.2. Evaluación empírica de la usabilidad del prototipo

6.2.1. Plan experimental

En esta sección se realiza la evaluación de la usabilidad del prototipo desarrollado para el caso de estudio. Se puede definir la usabilidad como el grado en el que un sistema, producto o servicio



puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr objetivos específicos, en un contexto de uso específico (ISO 9241-210, 2010). Para ello, se consideran tres aspectos (ISO 9241-11, 2018):

- i) Efectividad: precisión e integridad con la que los usuarios logran objetivos específicos.
- ii) Eficacia: recursos utilizados en relación con los resultados obtenidos (tiempo, esfuerzo humano, costos y materiales).
- iii) Satisfacción: medida en que las respuestas físicas, cognitivas y emocionales del usuario que resultan del uso de un sistema, producto o servicio satisfacen las necesidades y expectativas del usuario.

Para la evaluación de la usabilidad del prototipo se utiliza la Escala de Usabilidad del Sistema (*SUS – System Usability Scale en inglés*) que es un cuestionario ampliamente usado que ha demostrado ser una herramienta de evaluación robusta y confiable (Brooke, 2020). Este cuestionario consta de diez preguntas que se evalúan utilizando la escala de Likert de cinco puntos.

6.2.1.1. Objetivo

Según el paradigma GQM el objetivo de la evaluación empírica se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32

Objetivo de la evaluación empírica del prototipo

Analizar:	El prototipo.
Con el propósito de:	Evaluar la usabilidad.
Con respecto a:	La efectividad, eficacia y satisfacción del usuario frente al uso del prototipo.
Desde el punto de vista de:	El investigador.
En el contexto de:	Usuarios utilizando el prototipo.

6.2.1.2. Preguntas de investigación

De acuerdo con el objetivo de evaluación, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

- PI1: El prototipo, ¿es percibido por los usuarios como usable?

6.2.1.3. Hipótesis de investigación

Con el propósito de evaluar la pregunta de investigación se establece la hipótesis de investigación mostrada en la Tabla 33. La hipótesis nula, que se representa por el subíndice cero, corresponde a la ausencia de un efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes.

**Tabla 33***Hipótesis de investigación para la evaluación del prototipo*

Hipótesis	Descripción
$H1_0$	El prototipo no es percibido como usable. $H1_0 \neg H1_1$

La pregunta PI1 está soportada por la hipótesis H1.

6.2.1.4. Variables y métricas

Las variables independientes, variables dependientes y métricas consideradas en este cuasi-experimento se definen a continuación.

6.2.1.4.1. Variables independientes

Para este cuasi-experimento se considera como variable independiente: el prototipo.

6.2.1.4.2. Variables dependientes y métricas

Se considera la usabilidad como variable dependiente. Como instrumento para evaluar esta variable se utiliza el cuestionario SUS, cuyas preguntas detallan en la Tabla 34.

Tabla 34*Cuestionario SUS para evaluar la usabilidad*

Pregunta	Declaración
1	Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia.
2	Encontré el sistema innecesariamente complejo.
3	Creí que el sistema era fácil de usar.
4	Creo que necesitaría el apoyo de una persona técnica para ser capaz de utilizar este sistema.
5	Encontré que las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas.
6	Creí que había demasiada inconsistencia en este sistema.
7	Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este sistema muy rápidamente.
8	Encontré el sistema muy complejo de usar.
9	Me sentí muy seguro usando el sistema.
10	Necesitaba aprender muchas cosas antes de poder usar este sistema.

Las respuestas se miden en una escala de Likert de cinco puntos, de la siguiente manera:

1. Completamente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutro



4. De acuerdo
5. Completamente de acuerdo

6.2.2. Contexto experimental

6.2.2.1. Selección de la muestra

Con base en los datos provistos por el museo, en el año 2021, se registraron 14709 visitas. El 39% de los visitantes tienen un rango de edad de 19-29 años y el 40% tienen entre 30-64 años. El 91% son visitantes nacionales y el 54% se identifican con el género femenino. El cuasi-experimento se llevó a cabo en el mes de diciembre de 2021 con una muestra de 22 participantes, de los cuales el 39.1% se identifican con el género femenino y el 60.9% se identifican con el género masculino. La muestra tiene un rango de edad de entre 22 y 28 años, de nacionalidad ecuatoriana. De esta muestra, el 4.3% tiene discapacidad visual, el 69.6% ha realizado alguna visita a algún espacio expositivo en los últimos cinco años y el 60.9% ha realizado alguna visita virtual a algún espacio expositivo.

6.2.2.2. Tareas

Se plantearon cinco tareas y varias subtareas que los participantes deben realizar durante el cuasi-experimento. Estas tareas tienen el objetivo de asegurar que los participantes utilicen el prototipo y obtengan experiencia sobre las diferentes funcionalidades de este, para posteriormente completar el cuestionario de usabilidad. La Tabla 35 describe dichas tareas.

Tabla 35

Tareas del cuasi-experimento para evaluar la usabilidad

Tarea	Subtarea	Descripción
1	-	Ingrese a la página web del prototipo.
2	-	Cambie el idioma de la página a: ENGLISH.
3	-	Cambie el idioma de la página a: ESPAÑOL.
4	-	Ingrese al Museo Municipal Remigio Crespo Toral
	4.1	¿Cuál es el número telefónico del museo?
	4.2	¿Con cuántos recorridos/visitas virtuales cuenta el museo?
5	-	Ingrese al recorrido virtual de la Reserva Arqueológica.
	5.1	Ingrese a la ZONA 3 de la Reserva Arqueológica
	5.1.1	¿De qué material está hecho el CUCHILLO?
	5.2	Ingrese a la ZONA 5 de la Reserva Arqueológica
	5.2.1	¿De qué material está hecho la HACHA EN MEDIA LUNA Y PERFORADA?



6.2.3. Procedimiento experimental

6.2.3.1. Experimento piloto

Antes de realizar el cuasi-experimento, se realizó un plan piloto con la participación de dos expertos del Museo Municipal Remigio Crespo Toral. Esta sesión se realizó con el propósito de validar los instrumentos que serán utilizados a lo largo del cuasi-experimento. Los expertos realizaron las tareas que los participantes del cuasi-experimento deben realizar y utilizaron los instrumentos descritos en la sección de Tareas. Esta sesión tuvo una duración de 30 minutos en promedio.

6.2.3.2. Sesión de capacitación

Se elaboró un video para introducir a los participantes en el contexto del prototipo y en las funcionalidades de este. El video fue expuesto en la web para que los participantes puedan acceder a él.

6.2.3.3. Sesión experimental

Esta sesión se realizó de forma virtual, en ella los participantes realizaron las tareas descritas en la sección Tareas. Para esto, se elaboró una guía en Google Forms, la cual se dividió en las siguientes tres secciones:

- i) Encuesta demográfica: consta de ocho preguntas que tienen la finalidad de conocer detalles demográficos de la muestra.
- ii) Desarrollo del cuasi-experimento: en esta sección, los participantes siguen una serie de pasos para llevar a cabo las tareas planteadas. Adicionalmente, los participantes registraron la hora de inicio y la hora de finalización del cuasi-experimento.
- iii) Cuestionario de usabilidad: con el objetivo de evaluar la usabilidad del prototipo, los participantes completaron el cuestionario SUS.

6.2.3.4. Recolección de datos y tabulación

Al finalizar el cuasi-experimento se recolectó los datos necesarios para analizar la variable dependiente: usabilidad. Los resultados del cuestionario SUS se recolectaron con la ayuda de la herramienta Google Forms.

6.2.4. Análisis e interpretación de resultados

En esta sección se efectúa el análisis de los resultados obtenidos con respecto a la usabilidad del prototipo. El análisis se realizó con la herramienta SPSS v28.0.1.0.

6.2.4.1. Análisis de la usabilidad del prototipo

La evaluación del cuestionario SUS se realiza mediante el puntaje SUS obtenido para cada uno de los participantes. Este puntaje se calcula de la siguiente manera (Brooke, 2020):

- i) Se suman las contribuciones de puntaje de cada ítem. La contribución de puntuación de cada ítem oscila entre 0 y 4.
 - a. Para los ítems 1,3,5,7 y 9 la contribución de la puntuación es la posición de la escala menos 1.
 - b. Para los ítems 2,4,6,8 y 10, la contribución es de 5 menos la posición de la escala.
- ii) Se multiplica la suma de los puntajes por 2.5 para obtener el valor total de SUS.

La Figura 24 presenta la escala de aceptabilidad del puntaje SUS. Como se observa, un puntaje SUS entre 70 - 80 se califica como Bueno, uno entre 80 - 90 se califica como Excelente y uno superior a 90 se califica como el Mejor Imaginable. Los valores mayores a 70 están dentro del rango Aceptable. La Tabla 36 presenta el resumen de los puntajes obtenidos por los participantes de este cuasi-experimento.

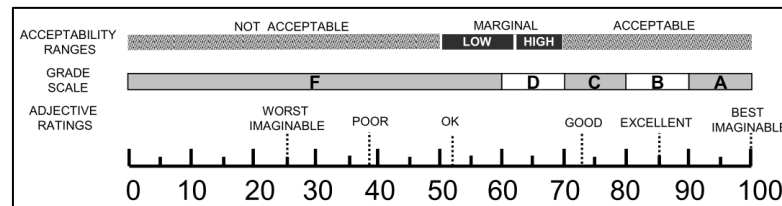


Figura 24

Escala de aceptabilidad del puntaje SUS. Fuente: (Bangor et al., 2009).

Como se observa en la Figura 25, no existen valores atípicos en la muestra. El puntaje mínimo es de 32.5, el puntaje máximo es 100, existe una media de 75.00 y una mediana de 76.25. El valor obtenido para la media indica que la usabilidad del prototipo se califica como Buena y se encuentra dentro del rango Aceptable.

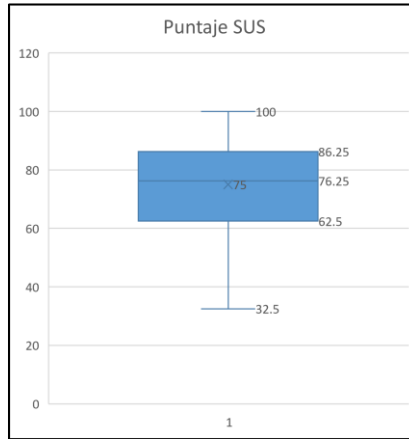


Figura 25

Diagrama de caja y bigotes del puntaje SUS de los participantes. Fuente: Autores (2021)

Tabla 36

Resumen de puntaje SUS de cada participante

Participante	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Puntaje SUS
1	3	3	1	2	5	1	4	4	5	3	62.5
2	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	97.5
3	4	2	4	1	5	1	4	2	4	1	85
4	4	1	1	1	5	1	5	1	5	5	77.5
5	3	4	5	1	5	1	5	2	5	1	85
6	5	2	4	1	5	1	5	2	5	1	92.5
7	5	3	4	4	3	4	5	4	5	2	62.5
8	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	100
9	3	3	1	1	4	2	5	1	2	2	65
10	4	3	3	3	4	1	4	2	4	3	67.5
11	3	3	5	2	5	1	5	1	4	1	85
12	4	2	2	1	4	2	5	1	3	2	75
13	3	2	4	1	4	1	3	1	4	1	80
14	4	4	4	3	4	3	4	3	4	2	62.5



15	5	2	3	1	3	1	4	1	4	3	77.5
16	1	5	3	3	1	4	2	3	2	1	32.5
17	5	2	5	1	5	1	5	1	5	1	97.5
18	3	3	4	1	3	2	3	3	3	2	62.5
19	4	3	4	3	3	3	3	2	3	2	60
20	5	3	5	1	5	1	3	1	5	1	90
21	3	2	3	2	3	4	5	3	2	2	57.5
22	2	3	4	1	4	2	4	1	4	1	75

La Tabla 37 presenta un resumen de los valores estadísticos y de la prueba de Shapiro-Wilk para la usabilidad. La significancia de $p > 0.05$, indica que la muestra tiene una distribución normal, por lo cual se aplica la prueba T-Student.

Tabla 37

Estadística descriptiva para la usabilidad

Variable	Mín	Max	Media	Desviación estándar	Shapiro-Wilk: p	T-Student
usabilidad	32.5	100	75.00	16.36	0.267	< 0.001

El valor de significancia obtenido en la prueba T-Student es menor que 0.05. Por lo tanto, la hipótesis $H1_0$ es rechazada, es decir, que el prototipo si es percibido como usable por los participantes del cuasi-experimento.

6.2.4.2. Interpretación de resultados

En esta sección se responde la pregunta de investigación planteada al inicio del cuasi-experimento:

- PI1: El prototipo, ¿es percibido por los usuarios como usable? El prototipo desarrollado fue percibido por los participantes como usable, esto se determina a través del rechazo de la hipótesis nula $H1_0$.

6.2.5. Presentación y empaquetado de resultados

En esta sección se presentan los resultados de cada una de las preguntas que conforman el cuestionario completado por los participantes al finalizar el cuasi-experimento. La primera pregunta (Figura 26) indica que al 32% de los participantes les gustaría utilizar el prototipo con frecuencia.

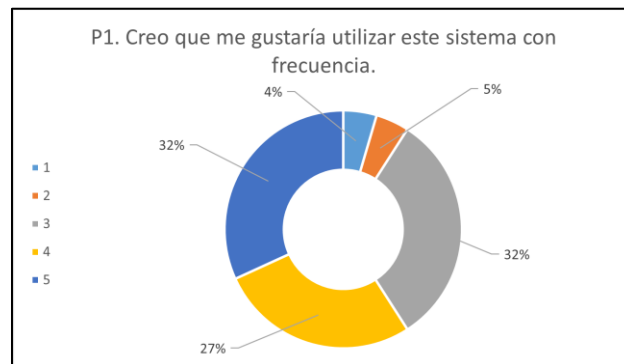


Figura 26

Cuestionario SUS – pregunta 1. Fuente: Autores (2021)

La Figura 27 muestra que el 32% de los participantes están en desacuerdo con que el sistema es innecesariamente complejo y únicamente el 4% están de acuerdo con esta afirmación.

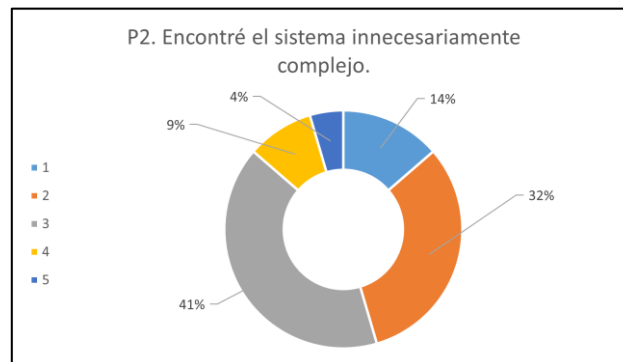
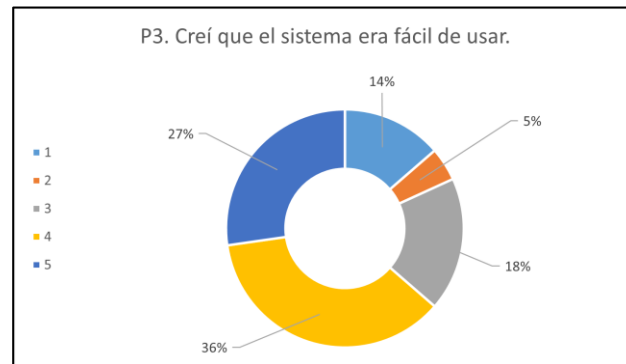


Figura 27

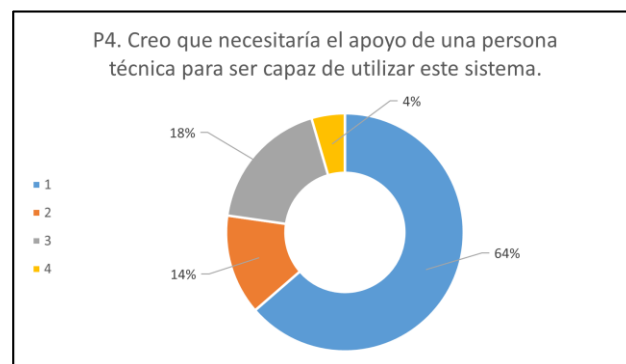
Cuestionario SUS – pregunta 2. Fuente: Autores (2021)

En la Figura 29 se observa que el 36% de los participantes están completamente de acuerdo y el 27% están de acuerdo con que el sistema es fácil de usar.

**Figura 29**

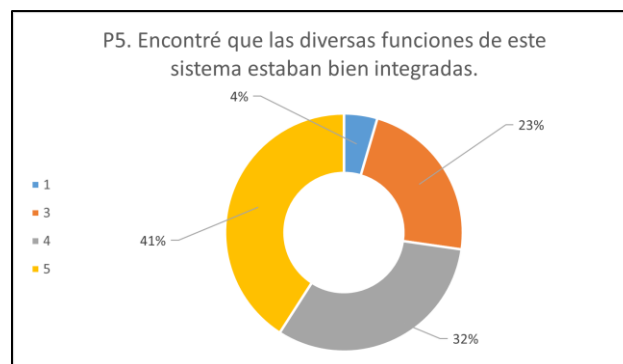
Cuestionario SUS – pregunta 3. Fuente: Autores (2021)

La Figura 28 muestra que el 64% está completamente en desacuerdo con que es necesario el apoyo de una persona técnica para ser capaz de utilizar el sistema.

**Figura 28**

Cuestionario SUS – pregunta 4. Fuente: Autores (2021)

En la Figura 30 se observa que el 41% está completamente de acuerdo con que las diversas funciones de prototipo están bien integradas.

**Figura 30**

Cuestionario SUS – pregunta 5. Fuente: Autores (2021)

Por su parte, la Figura 31 muestra que el 59% de los participantes están completamente en desacuerdo con que había demasiada inconsistencia en el prototipo.

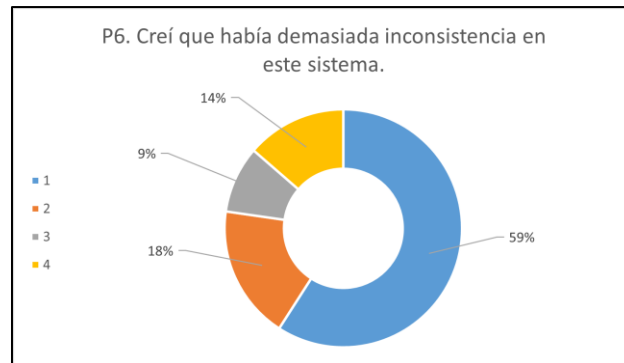


Figura 31

Cuestionario SUS – pregunta 6. Fuente: Autores (2021)

La Figura 32 indica que el 50% de los participantes están completamente de acuerdo con que la mayoría de la gente aprendería a usar este sistema muy rápidamente.

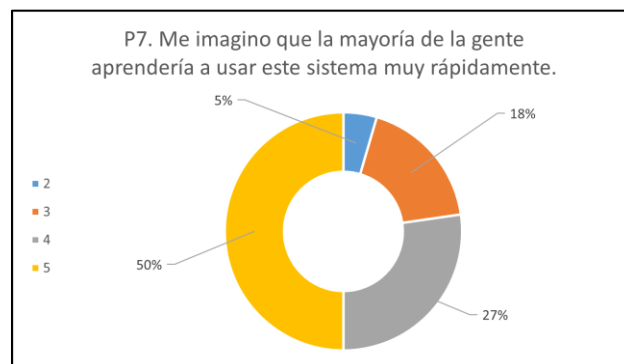


Figura 32

Cuestionario SUS – pregunta 7. Fuente: Autores (2021)

En la Figura 35 se muestra que el 50% de la muestra está completamente en desacuerdo y el 23% está en desacuerdo con que el prototipo es muy complejo de usar.

En la Figura 34 se observa que el 41% de los participantes está completamente de acuerdo y el 32% está de acuerdo con que se sienten muy seguros usando el prototipo.

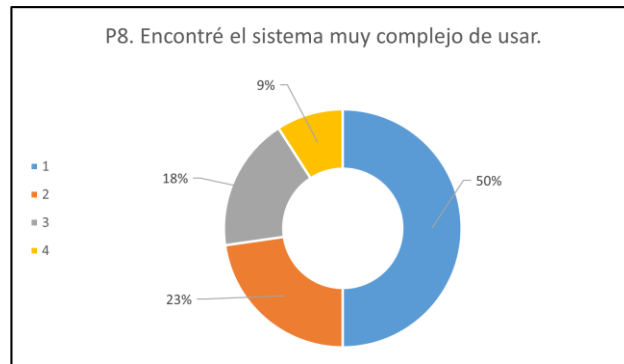


Figura 35

Cuestionario SUS – pregunta 8. Fuente: Autores (2021)

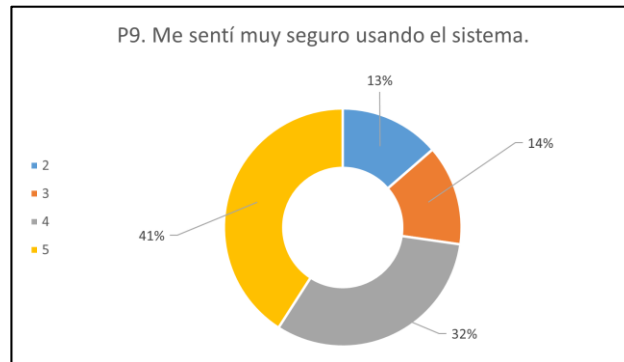


Figura 34

Cuestionario SUS – pregunta 9. Fuente: Autores (2021)

Finalmente, en la Figura 33 se observa que el 50% de la muestra está completamente en desacuerdo y el 32% está en desacuerdo con que necesitan aprender muchas cosas antes de poder usar el prototipo.



Figura 33

Cuestionario SUS – pregunta 10. Fuente: Autores (2021)



6.2.6. Amenazas a la validez

En esta sección se describen los problemas que pueden afectar la validez del cuasi-experimento. Para ello, se consideran los cuatro tipos de validez propuestos por Campbell & D Cook, (1979) los cuales son: validez de la conclusión estadística, validez interna, validez de constructo y validez externa.

6.2.6.1. Validez de la conclusión estadística

Los métodos estadísticos seleccionados para el análisis pueden afectar la validez de la conclusión. Para hacer frente a esto, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk con la cual se determinó que la muestra tiene una distribución normal. Posteriormente se usó la prueba T-Student a través de la cual se calculó la significancia de la variable: usabilidad; y se determinó que la hipótesis $H1_0$ debe ser rechazada.

6.2.6.2. Validez interna

La validez interna puede verse afectada por el conocimiento y experiencia que tienen los participantes. Para este cuasi-experimento ninguno de los participantes había usado el prototipo con anterioridad. Para equilibrar el conocimiento de todos los participantes, se realizó la sesión de capacitación antes de la ejecución del cuasi-experimento.

6.2.6.3. Validez de constructo

La amenaza identificada para este tipo de validez hace referencia la confiabilidad del cuestionario utilizado para evaluar las percepciones de los usuarios. En este sentido, se usó un cuestionario que es ampliamente usado y ha demostrado ser una herramienta de evaluación robusta y confiable (Brooke, 2020).

6.2.6.4. Validez externa

Este tipo de validez hace referencia a la capacidad de generalizar los resultados del cuasi-experimento a toda la población. Para ello, se eligió la muestra con base en la información provista por el Museo Municipal Remigio Crespo Toral. Es por eso, que los resultados pueden ser generalizados a la población.



Capítulo 7: Conclusiones y trabajo futuro

En este capítulo se describen los resultados de este trabajo de titulación, para ello se verifica el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente.

7.1. Conclusiones

En esta sección se describen las conclusiones obtenidas, de acuerdo con cada uno de los objetivos planteados en este trabajo.

7.1.1. *Objetivo general*

En el objetivo general se plantea: *desarrollar y evaluar una metodología para la creación de aplicaciones basadas en realidad extendida, usando el diseño centrado en el usuario, con el propósito de permitir el acceso a la información de las piezas existentes en los espacios expositivos de un museo*. Este objetivo se ha cumplido en su totalidad, ya que como producto de este trabajo de titulación se ha creado una metodología para el desarrollo de aplicaciones XR, misma que ha sido usada en el caso de estudio y evaluada a través de dos cuasi-experimentos.

La metodología creada reúne conceptos de XR, UCD y el enfoque de desarrollo ágil. Esta solución brinda los siguientes aportes:

- i) A través del estudio realizado sobre el estado actual de la investigación, se identificaron directrices de diseño, guías y frameworks para la creación de aplicaciones XR. Así como también, se identificaron limitaciones en los enfoques de desarrollo dirigidos por un plan y ágiles, limitaciones que tienen relación con aspectos principales en las aplicaciones XR, como: la recolección de datos y la vinculación del usuario.
- ii) Esta metodología tiene como fundamentos el UCD y el enfoque de desarrollo ágil. Consta de seis etapas, las cuales son:
 1. Comprender y especificar el contexto de uso.
 2. Especificar los requerimientos del usuario.
 3. Recolectar datos.
 4. Diseñar la arquitectura del sistema
 5. Ciclo VDDE
 6. Cierre del proyecto



- iii) Un aspecto clave en la creación de aplicaciones XR es la información que será visualizada en este tipo de aplicaciones. Es por esto, que se ha puesto especial interés en la etapa de Recolección de Datos de esta metodología, misma que no es considerada en los enfoques de desarrollo dirigidos por un plan y ágiles.
- iv) Las aplicaciones XR deben proveer una buena experiencia de usuario. Por tal motivo, esta metodología involucra al usuario en cada una de sus etapas, con el fin de obtener una retroalimentación desde las etapas más tempranas de la metodología y así obtener aplicaciones que satisfagan las necesidades de los usuarios y brinden una mejor experiencia de uso.
- v) La metodología incluye una guía para recolección de datos, la misma que, a través de la evaluación empírica, ha sido considerada como fácil de usar y útil.

Para cumplir con el objetivo general se plantearon tres objetivos específicos, los cuales se describen a continuación.

7.1.2. Objetivo específico 1

Como primer objetivo específico se plantea: *realizar un estudio del estado actual de la investigación para identificar técnicas y estrategias utilizadas actualmente para el desarrollo de aplicaciones de realidad extendida para un museo*. Este objetivo se ha cumplido en su totalidad a través del estudio del estado actual de la investigación realizado. A partir de una búsqueda realizada en las bibliotecas digitales de la Asociación de Maquinaria Computacional (*ACM – Association for Computing Machinery en inglés*) y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers en inglés*), inicialmente se obtuvieron 512 artículos de interés. Posteriormente, estos artículos se filtraron por título y por resumen. Luego de aplicar estos filtros, se obtuvieron 35 artículos que fueron analizados. Como resultado de este análisis se conocieron los siguientes aspectos:

- i) En los trabajos relacionados se identificaron directrices de diseño, metodologías, métodos y frameworks que son usados en la actualidad.
- ii) En cuanto a las directrices de diseño, los trabajos relacionados comparten la idea de realizar un estudio preliminar que permita comprender el contexto de la aplicación XR, diseñar las interfaces de usuario utilizando técnicas que faciliten la interacción del usuario con el contenido de la aplicación, y evaluar el diseño de la aplicación.



- iii) Las metodologías propuestas en los trabajos relacionados se centran en el diseño de aplicaciones XR. Por su parte, los métodos revisados, adicionalmente a las metodologías, proponen una fase de evaluación del diseño construido.
- iv) Por otra parte, los frameworks revisados plantean considerar aspectos relacionados con el contenido, el diseño e implementación de las aplicaciones XR.
- v) La mayor parte de los trabajos relacionados no utilizan el UCD. Los trabajos relacionados que consideran UCD, no especifican en qué forma se involucra a los usuarios en los procesos de desarrollo. Adicionalmente, los trabajos relacionados se enfocan en ciertas fases del desarrollo de software, principalmente en la fase de diseño. Sin embargo, ningún trabajo revisado cubre todas las fases del proceso de desarrollo de software.

7.1.3. *Objetivo específico 2*

Como segundo objetivo específico se establece: *plantear las etapas de la metodología para la creación de aplicaciones basadas en realidad extendida aplicadas a un museo, considerando el diseño centrado en el usuario*. Este objetivo se ha cumplido en su totalidad, a través de la definición de las etapas de la metodología de desarrollo propuesta, para la creación de aplicaciones XR para espacios expositivos. La metodología consta de las siguientes etapas:

- i) Comprender y especificar el contexto de uso: permite recopilar y analizar información sobre la situación actual del espacio expositivo, con el propósito de comprender y especificar el contexto en el que se usará la aplicación XR.
- ii) Especificar los requerimientos del usuario: ayuda a recopilar de forma explícita los requerimientos de los usuarios en relación con el contexto de uso y los objetivos de la aplicación.
- iii) Recolectar datos: el objetivo de esta etapa es recolectar los datos necesarios para modelar el contenido que se visualizará en la aplicación XR.
- iv) Diseñar la arquitectura del sistema: permite identificar los componentes principales de la aplicación.
- v) Ciclo VDDE: es una etapa iterativa que tiene como objetivo realizar entregas incrementales de la aplicación. Cada ciclo está compuesto por tres subetapas:
 - a. Valoración: analiza los requerimientos, para esto se realiza la priorización de los requerimientos y se eligen los requerimientos que se van a cubrir durante el ciclo, empezando por los requerimientos de mayor prioridad.



- b. Diseño: se diseña la solución para hacer frente a los requerimientos seleccionados para el ciclo actual.
- c. Desarrollo: tiene como objetivo principal el desarrollo de un prototipo funcional basado en diseño de la solución.
- d. Evaluación: realiza pruebas de la solución frente a los requerimientos del usuario. Se analizan los resultados obtenidos en las pruebas y se obtiene retroalimentación de los usuarios.
- vi) Cierre del proyecto: se entrega la aplicación finalizada, además, se elabora y entrega la documentación necesaria.

7.1.4. Objetivo específico 3

Como tercer objetivo específico se plantea: *evaluar la metodología propuesta a través de la evaluación de la experiencia de usuario y la usabilidad del prototipo desarrollado*. Este objetivo se ha cumplido en su totalidad, a través de la ejecución de dos cuasi-experimentos:

- i) Evaluación de la metodología: se llevó a cabo un cuasi-experimento, con una muestra de 32 participantes, estudiantes de noveno semestre de la escuela de Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. El propósito de este cuasi-experimento fue el evaluar la etapa de recolección de datos de la metodología para el desarrollo de una aplicación XR para un espacio expositivo, para ello, se utilizó el MEM. Como resultado se obtuvo que la metodología se percibe como fácil de usar y útil, además existe una intención de uso en el futuro. Esta intención de uso está determinada tanto por la facilidad de uso percibida como por la utilidad percibida.
- ii) Evaluación de la usabilidad del prototipo: se llevó a cabo un segundo cuasi-experimento, con una muestra de 22 participantes de entre 22 y 28 años. El propósito de este cuasi-experimento fue el evaluar la usabilidad del prototipo desarrollado. Para esto, se utilizó el cuestionario SUS. Como resultado se obtuvo que la usabilidad del prototipo se califica como Buena y se encuentra dentro del rango Aceptable, es decir que el prototipo es usable.

7.2. Trabajo futuro

A partir de este trabajo de titulación, se plantean futuras actividades y líneas de investigación sobre el uso de las diversas tecnologías XR en diferentes contextos. Los trabajos futuros se describen a continuación:



- i) Extender este estudio considerando otras tecnologías XR que integren diferentes tipos de dispositivos especializados (como cascos y gafas inteligentes) para poder generalizar los resultados de este trabajo a otros contextos.
- ii) Se propone realizar una investigación más profunda sobre aspectos de diseño que permitan crear aplicaciones XR inclusivas para grupos vulnerables.
- iii) En cuanto a la recolección de datos, se propone la creación de herramientas que permitan realizar la recolección de forma automatizada y crear una simulación con la que se pueda visualizar los datos recolectados en un prototipo.



Bibliografía

- Alonso, J., Galán, F., Saraite, L., & del Carmen Caba, M. (2019). *Spanish Museum Policies Through Social Media to Enhance Communication With the Stakeholders*.
- Argyriou, L., Economou, D., & Bouki, V. (2020). Design methodology for 360° immersive video applications: the case study of a cultural heritage virtual tour. *Personal and Ubiquitous Computing*, 24(6), 843–859. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01373-8>
- Arias, P., Medina, A., Robles, V., Robles, Y., Pesantez, F., Ortega, J., Matute, D., & Roldan, V. (2018, December 21). E-Pumapunku: An Interactive App to Teach Children the Cañari and Inca Indigenous Cultures during Guided Museum Visits. *2018 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería, CONIITI 2018 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/CONIITI.2018.8587097>
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114–123.
- Barbieri, L., Bruno, F., & Muzzupappa, M. (2018). User-centered design of a virtual reality exhibit for archaeological museums. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 12(2), 561–571. <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0414-z>
- Basili, V. R. (1992). Software modeling and measurement: the Goal/Question/Metric paradigm. In *Quality* (p. 24).
- Bernik, A., Vusić, D., & Kober, D. (2019). Implementation of augmented reality application and computer graphics: The case of the stolen paintings. *Tehnicki Vjesnik*, 26(6), 1570–1575. <https://doi.org/10.17559/TV-20181015160248>
- Blázquez, A. (2017). *Realidad Aumentada en Educación*.
- Brooke, J. (2020). SUS: A “Quick and Dirty” Usability Scale. *Usability Evaluation In Industry*, 207–212. <https://doi.org/10.1201/9781498710411-35>
- Campbell, D., & Cook, T. (1979). Quasi-Experimentation: Design and Analysis Issues for Field Settings. *Http://Dx.Doi.Org/10.1207/S15327752jpa4601_16*, 46(1), 96–97. https://doi.org/10.1207/S15327752JPA4601_16
- Capuano, N., Gaeta, A., Guarino, G., Miranda, S., & Tomasiello, S. (2016). Enhancing augmented reality with cognitive and knowledge perspectives: a case study in museum exhibitions. *Behaviour & Information Technology*, 35(11), 968–979.
- Caputo, F. M., Ciortan, I.-M., Corsi, D., De Stefani, M., & Giachetti, A. (2016). Gestural Interaction and Navigation Techniques for Virtual Museum Experiences. *AVI* CH*, 32–35.



- Chuah, S. H.-W. (2019). Why and Who Will Adopt Extended Reality Technology? Literature Review, Synthesis, and Future Research Agenda. *SSRN Electronic Journal*, 2018. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3300469>
- Cranmer, E. E., tom Dieck, M. C., & Fountoulaki, P. (2020). Exploring the value of augmented reality for tourism. *Tourism Management Perspectives*, 35, 100672.
- Damala, A., Ruthven, I., & Hornecker, E. (2019). The MUSETECH model: A comprehensive evaluation framework for museum technology. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 12(1), 1–22.
- Davis, F. (1986). A TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL FOR EMPIRICALLY TESTING NEW END-USER INFORMATION SYSTEMS: THEORY AND RESULTS. *Science*, 1648–1655. <https://doi.org/10.1126/science.146.3652.1648>
- Ferre, X. (2000). Principios básicos de usabilidad para ingenieros software. *V Jornadas de Ingeniería Del Software y Bases de Datos 2000, January 2000*, 39–46.
- Fuchs, P. (2011). Virtual Reality: Concepts and Technologies. In *Virtual Reality: Concepts and Technologies*. <https://doi.org/10.1201/b11612>
- Garreta, M., & Mor, E. (2017). Diseño centrado en el usuario. *Diseño Centrado En El Usuario*, 2(4).
- Gorschek, T., Garre, P., Larsson, S., & Wohlin, C. (2006). A model for technology transfer in practice. *IEEE Software*, 23(6), 88–95. <https://doi.org/10.1109/MS.2006.147>
- Hajirasouli, A., Banihashemi, S., Kumarasuriyar, A., Talebi, S., & Tabadkani, A. (2021). Virtual reality-based digitisation for endangered heritage sites: Theoretical framework and application. *Journal of Cultural Heritage*.
- Hammady, R., Ma, M., & Powell, A. (2018). User experience of markerless augmented reality applications in cultural heritage museums: ‘museumeye’ as a case study. *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, 349–369.
- Hammady, R., Ma, M., Strathern, C., & Mohamad, M. (2020). Design and development of a spatial mixed reality touring guide to the Egyptian museum. *Multimedia Tools and Applications*, 79(5), 3465–3494.
- ISO 9241-11. (2018). *Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>
- ISO 9241-210. (2010). *Ergonomics of human-system interaction-Human-centred design for interactive systems*.
- Ivasciuc, I. S. (2020). “Augmented Reality and Facial Recognition Technologies. Building Bridges Between the Hospitality Industry and Tourists During Pandemic.” *Series V - Economic*



Sciences, 13(62)(2), 75–92. <https://doi.org/10.31926/but.es.2020.13.62.2.8>

- Kauhanen, O., Väättäjä, H., Turunen, M., Keskinen, T., Sirkkunen, E., Uskali, T., Lindqvist, V., Kelling, C., & Karhu, J. (2017). Assisting immersive virtual reality development with user experience design approach. *Proceedings of the 21st International Academic Mindtrek Conference*, 127–136.
- Kaushal, V. (2019). *Exploratory Study: Implementation and Applications of Extended Reality*.
- Koo, S., Kim, J., Kim, C., Kim, J., & Cha, H. S. (2019). Development of an augmented reality tour guide for a cultural heritage site. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 12(4), 1–24.
- Llerena, J., Andina, M., & Grijalva, J. (2018). Mobile application to promote the Malecón 2000 tourism using augmented reality and geolocation. *Proceedings - 3rd International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2018, 2018-Decem*, 213–220. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS.2018.00038>
- Malca, J., Carrasco, B., Guaman, V., Guevara, B., Ruiz, F., Delgado, J., & Vinueza Naranjo, P. G. (2019). ARTOUR: Augmented Reality for Tourism - A Case Study in Riobamba, Ecuador. *Proceedings - 2019 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2019*, 116–123. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS49368.2019.00027>
- Marasco, A., & Balbi, B. (2019). Designing accessible experiences for heritage visitors through virtual reality. *E-Review of Tourism Research*, 17(3).
- Mesároš, P., Mandičák, T., Mesarsova, A., & Kršák, B. (2016). Use of Augmented Reality and Gamification techniques in tourism. *E-Review of Tourism Research*. https://www.researchgate.net/publication/305154812_Use_of_Augmented_Reality_and_Gamification_techniques_in_tourism
- Moody, D. L. (2001). Dealing with Complexity: A Practical Method for Representing Large Entity Relationship Models. *Department Of Information Systems*, 460.
- Naciones Unidas. (2020). *COVID-19 and Transforming Tourism*. <https://doi.org/10.18111/wtobarometereng>
- Nielsen, J. (1994). Usability inspection methods. *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*.
- Nummenmaa, T., Buruk, O., Bujic, M., Sjöblom, M., Holopainen, J., & Hamari, J. (2021). Space Pace: Method for creating augmented reality tours based on 360 videos. *9th EAI International Conference on Arts and Technology, Interactivity, and Game Creation, ArtsIT 2020*, 119–138.
- Pittarello, F. (2019). Designing AR enhanced art exhibitions: a methodology and a case study.



Proceedings of the 13th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter: Designing the next Interaction, 1–5.

- Poux, F., Valembois, Q., Mattes, C., Kobbelt, L., & Billen, R. (2020). Initial user-centered design of a virtual reality heritage system: Applications for digital tourism. *Remote Sensing*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/RS12162583>
- Prieto, R. V., Luis, Z. R., Ofelia, Y., & Morell, J. (2014). *Procedimiento para realizar pruebas de usabilidad*. 1–15. http://www.informatica-juridica.com/wp-content/uploads/2014/01/Procedimiento_para_realizar_pruebas_de_usabilidad.pdf
- Rodrigues, J. M. F., Pereira, J. A. R., Sardo, J. D. P., de Freitas, M. A. G., Cardoso, P. J. S., Gomes, M., & Bica, P. (2017). Adaptive card design UI implementation for an augmented reality museum application. *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, 433–443.
- Rodríguez, M. I., & Díaz, L. (2017). *Paseo Virtual de La Santa Iglesia Catedral del Santísimo Salvador de Bayamo*.
- Shukri, S. A. I. A., Arshad, H., & Abidin, R. Z. (2017). The design guidelines of mobile augmented reality for tourism in Malaysia. *AIP Conference Proceedings*, 1891(October). <https://doi.org/10.1063/1.5005359>
- Siang, T. G., Aziz, K. A., & Ahmad, Z. (2020). Developing a framework for augmented reality mobile application success and world heritage sites sustainability. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(10 Special Issue), 287–296. <https://search.bvsalud.org/global-literature-on-novel-coronavirus-2019-ncov/resource/en/covidwho-831431>
- Sidyawati, L., Sudarmanto, J. A., Prasetyo, A. R., Muhammad, E., & Berahim, H. Bin. (2019). Nusantara Mask Heritage Malaysia: Infographic Application Development of Masks of Malaysian Indigenous Tribes at the Museum of Asian Art Malaysia based on Augmented Reality as Media of Tourism Education. *Jurnal IPTA P-ISSN*, 7(2), 2019.
- Sistema Integral de Información Cultural. (2021). *Impacto del Covid-19 en el sector cultural y patrimonial del Ecuador - marzo 2021 Efectos del Covid-19 en el sector cultural y patrimonial de marzo a diciembre 2020*. 1.
- Smith, P., & Apple, D. K. (2006). Methodology for Creating Methodologies. *Faculty Guidebook*, 287–290.
- Sommerville, I. (1997). Ingeniería De Software. In *Informática Industrial* (Novena). PEARSON EDUCACIÓN. <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=L5tVdqFU3jcC&oi=fnd&pg=PA45&dq=Inge>



neria+de+Software&ots=Dgx7drEqNa&sig=Kkm4_vRo_scAHzqrSZo9Dd_pyOw%5Cnhttp://
/books.google.com/books?hl=en&lr=&id=L5tVdqFU3jcC&oi=fnd&pg=PA45&dq=ingenieria
+de+software&ots=Dgx7drE

- Srinivasan, R., Boast, R., Furner, J., & Becvar, K. M. (2009). Digital Museums and Diverse Cultural Knowledges: Moving Past the Traditional Catalog. *The Information Society*, 25(4), 265–278. <https://doi.org/10.1080/01972240903028714>
- tom Dieck, M. C., & Jung, T. (2018). A theoretical model of mobile augmented reality acceptance in urban heritage tourism. *Current Issues in Tourism*, 21(2), 154–174. <https://doi.org/10.1080/13683500.2015.1070801>
- Trujillo, M., Aguilar, J. J., & Neira, C. (2016). Los métodos más característicos del diseño centrado en el usuario -DCU-, adaptados para el desarrollo de productos materiales. *Iconofacto*, 12(19), 215–236. <https://doi.org/10.18566/iconofact.v12.n19.a09>
- Walmsley, A. P., & Kersten, T. P. (2020). The IMPERIAL Cathedral in Königsutter (Germany) as an immersive experience in virtual reality with integrated 360 panoramic photography. *Applied Sciences*, 10(4), 1517.
- Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., & Wesslén, A. (2012). Experimentation in software engineering. In *Experimentation in Software Engineering* (Vol. 9783642290). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29044-2>
- Yung, R., & Khoo-Lattimore, C. (2019). New realities: a systematic literature review on virtual reality and augmented reality in tourism research. *Current Issues in Tourism*, 22(17), 2056–2081. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1417359>



Anexos

Anexo 1. Guía para la etapa de recolección de datos de la metodología

Guía para la etapa de recolección de datos de la metodología de desarrollo.

La guía presentada en este documento contiene la información necesaria para que el lector comprenda las actividades a realizar y los resultados esperados de la etapa de recolección de datos de la metodología.

1. Reconocimiento de las áreas de interés

- Reconocimiento del entorno:** El propósito de esta tarea es que el equipo de desarrollo comprenda el mensaje que el espacio expositivo desea transmitir a los visitantes. Para ello, se recomienda realizar una visita guiada por un experto en el área, obtener información de la web y otros materiales provistos por el experto.
- Piezas más relevantes:** cada espacio expositivo tiene diferentes piezas que se exponen en sus exhibiciones, es necesario conocer cuáles de estas piezas son las más relevantes desde el punto de vista tanto del experto como del visitante.

Como resultado de esta actividad se espera el siguiente resultado:

- Listado de las piezas relevantes desde el punto de vista del experto.
- Listado de las piezas relevantes desde el punto de vista del visitante.

Los productos esperados pueden resumirse en la Tabla 1:

Tabla 1. Listado de piezas expositivas

Piezas expositivas relevantes	
Según el experto	Según el visitante
...	...

2. Selección de las piezas expositivas

- Multimedia para presentar la información:** se recomienda elegir el formato de la información de acuerdo con el tamaño de la aplicación a desarrollar y a los requerimientos no funcionales de la misma. Para aplicaciones pequeñas es posible utilizar video e imágenes 3D, en caso de ser necesario. Por su parte, si se trata de una aplicación más compleja se recomienda utilizar imágenes y texto, de tal manera que la aplicación tenga un tiempo de respuesta acorde con los requerimientos no funcionales.
- Duración de la exposición:** se recomienda estimar la duración de una exposición según el criterio del experto en el dominio.
- Selección de las piezas expositivas que van a presentarse en la aplicación.** Para esto, se deben considerar los puntos de vista tanto del experto del espacio expositivo como de los visitantes. Se recomienda utilizar algunos criterios de selección como: i) Disponibilidad de las piezas, es decir, verificar si las piezas tienen alguna restricción de acceso. ii) Fragilidad: verificar si las piezas pueden ser manipuladas sin poner en riesgo su integridad. iii) Interés del visitante, con información provista por el experto del museo, se plantea una escala de 5 puntos (0 indica ausencia de interés, 5 indica total interés) que mide el interés del visitante sobre una pieza expositiva. iv) Información válida disponible, las piezas seleccionadas deben contar con información de calidad que pueda ser mostrada a los visitantes, esta información debe ser validada por el experto del espacio expositivo.



Para seleccionar una pieza se consideran estos cuatro criterios. Las piezas que no cuentan con información válida no están disponibles o son frágiles deben ser descartadas a menos que sean de gran interés para el visitante (5 puntos).

Como resultado de esta actividad se espera el siguiente resultado:

- a. Listado de las piezas que se mostrarán en la aplicación.
- b. Tipos de multimedia a utilizar en la aplicación.

Los productos esperados pueden resumirse en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4:

Tabla 2. Listado de multimedia a utilizar

Multimedia a utilizar
...

Tabla 3. Criterios para seleccionar las piezas expositivas

Nombre de la pieza	Tiene descripción	Disponible	Frágil	Interés del visitante	Seleccionado

Tabla 4. Listado de piezas expositivas a utilizar

Piezas expositivas
...

3. Recolección de datos de las piezas expositivas

- a. **Verificar la cantidad y calidad de la información descriptiva recolectada:** la información mostrada en la aplicación debe ser concreta y de calidad. Se recomienda que esta información sea provista por el experto en el dominio, sin embargo, cuando se trata de información obtenida de fuentes diferentes al experto, esta debe ser verificada por el mismo.
- b. **Estructurar la información que se va a presentar en la aplicación:** toda la información recopilada debe ser estructurada para ser almacenada en un almacén de datos para su posterior uso. Se recomienda la siguiente estructura básica de datos:

Título	Autor	Descripción	Época/Año	Técnica/Material	Información adicional
--------	-------	-------------	-----------	------------------	-----------------------

- c. **Recolección de datos multimedia:** se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - i. Tipo de cámara con la que se realizan las tomas del espacio expositivo y de las piezas expositivas: cámaras profesionales, cámaras 360°, drones, entre otros. Los instrumentos usados deben proveer una resolución de 4K.
 - ii. Los instrumentos utilizados deben estar calibrados adecuadamente: generalmente son necesarios instrumentos adicionales como trípodes y bases giratorias.
 - iii. Disponibilidad de las piezas expositivas: según el tipo de multimedia a usar, se tienen diferentes requerimientos. Muchas veces, las piezas se encuentran dentro de vitrinas y para acceder a ellas es necesario gestionar permisos con anterioridad. Por otra parte, algunas piezas expositivas son frágiles y su



manipulación supone un riesgo a su integridad, esto debe ser considerado antes de realizar vídeos e imágenes 3D que requieren tomas desde varios ángulos.

- iv. Disponibilidad del espacio expositivo: las tomas realizadas tanto de las piezas como del espacio expositivo deben realizarse en un horario que no interrumpa a los visitantes del espacio expositivo.
- v. Hora del día y clima: se recomienda realizar las tomas en un mismo horario y estación, de tal manera que no se pierda el realismo de la exposición.
- vi. Cuando se trata de espacios expositivos en interiores, se debe verificar que la iluminación de la habitación sea adecuada, las lámparas deben funcionar correctamente y se debe controlar el reflejo de estas sobre las piezas expositivas.

Como resultado de esta actividad se espera el siguiente resultado:

- a. Estructura de la información que será guardada en un almacén de datos.
- b. Instrumentos necesarios para la recolección de datos multimedia.
- c. Horario en el que se realizará la recolección de datos.
- d. Permisos necesarios para acceder a las piezas.

Los productos esperados pueden resumirse en la Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7:

Tabla 4. Estructura de la información

Columna 1	Columna 2	Columna 3	...	Columna n
-----------	-----------	-----------	-----	-----------

Tabla 5. Instrumentos

Instrumentos
...

Tabla 6. Horario

Horario	
Día	
Hora	

Tabla 7. Permisos

Permisos	
Pieza	Responsable
...	...



Museo 360

Manual de usuario

Recorrido 360° de la Sala de Elia Liut y Reserva de Arqueología del Museo Municipal Remigio Crespo Toral

Fecha: 13/01/2022



Tabla de contenido

HOJA DE CONTROL	2
1. Propósito	2
2. Partes de la aplicación	2
3. Funcionalidades de la aplicación	3
4. Descripción de la aplicación	3
4.1. Descripción de las funcionalidades de la aplicación	3

HOJA DE CONTROL

Organismo	Universidad de Cuenca		
Proyecto	Recorrido 360° de la Sala de Elia Liut y Reserva de Arqueología del Museo Municipal Remigio Crespo Toral		
Entregable	Manual de Usuario		
Autor	Dayana Agudo Guiracocha, Christian Barreto Paredes		
Versión/Edición	1	Fecha Versión	13/01/2022
Aprobado por		Fecha Aprobación	DD/MM/AAAA
		Nº Total de Páginas	11

1. Propósito

El siguiente documento tiene como objetivo guiar al usuario final sobre el funcionamiento de la aplicación web para el recorrido 360° de la Sala de Elia Liut y Reserva de Arqueología del Museo Municipal Remigio Crespo Toral de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

En este manual de usuario se pretende dar a conocer:

- Las partes de la aplicación.
- El uso de las funcionalidades de la aplicación.
- Que el usuario aprenda a usar la aplicación rápidamente.

2. Partes de la aplicación

La aplicación se compone de una estructura básica que consta de tres partes:

- Barra de navegación.



- Contenido de información.
- Pie de página.

3. Funcionalidades de la aplicación

La aplicación provee las funcionalidades que se listan a continuación:

- Retorno a la página principal de la aplicación.
- Cambio de idioma de la aplicación.
- Visualización del panel de ayuda.
- Redirección hacia la página web del GAD Municipal del Cantón Cuenca.
- Redirección hacia la página web de la Dirección General de Cultura, Recreación y Conocimiento.
- Visualización del listado de museos.
- Ingreso al museo.
- Retorno a la página principal del museo.
- Visualización de imágenes e información del museo.
- Visualización de los recorridos virtuales disponibles en el museo.
- Ingreso del recorrido virtual.
- Inicio del recorrido virtual.
- Visualización de tarjetas infográficas de las piezas del recorrido virtual.
- Visualización de información detallada de las piezas del recorrido virtual.
- Transición de un escenario a otro dentro del recorrido virtual.

4. Descripción de la aplicación

En esta sección se describe de forma visual cada una de las funcionalidades de la aplicación.

4.1. Descripción de las funcionalidades de la aplicación

A continuación, se muestra en detalle cada una de las funcionalidades que brinda la aplicación:

Pantalla inicial

Se puede acceder a la aplicación a través de la siguiente URL:
<https://museos.cuenca.gob.ec>



The screenshot shows the application interface for the Museo Municipal Remigio Crespo Toral. It features a dark red header with a home icon (1), language and help options (2, 3), and a main content area with a museum logo (6) and a 'VISITAR' button (7). The footer contains the Universidad de Cuenca logo (4) and a copyright notice (5).

1. Retorno a la página principal de la aplicación
Esta funcionalidad permite al usuario retornar hacia la página de inicio de la aplicación.






2. Cambio de idioma de la aplicación
Esta funcionalidad despliega un menú que permite al usuario cambiar el idioma de la aplicación. Los idiomas disponibles son:

- Español (idioma por defecto)
- Inglés
- Francés

3. Visualización del panel de ayuda
Esta funcionalidad redirecciona al usuario a una página que muestra los diferentes controles del entorno virtual. Estos controles son:

- Información de la pieza: permite visualizar la información correspondiente a la pieza dentro del recorrido virtual
- Iniciar recorrido virtual: permite iniciar el recorrido virtual.
- Siguiente paso: permite al usuario navegar entre las diferentes escenas del recorrido virtual.



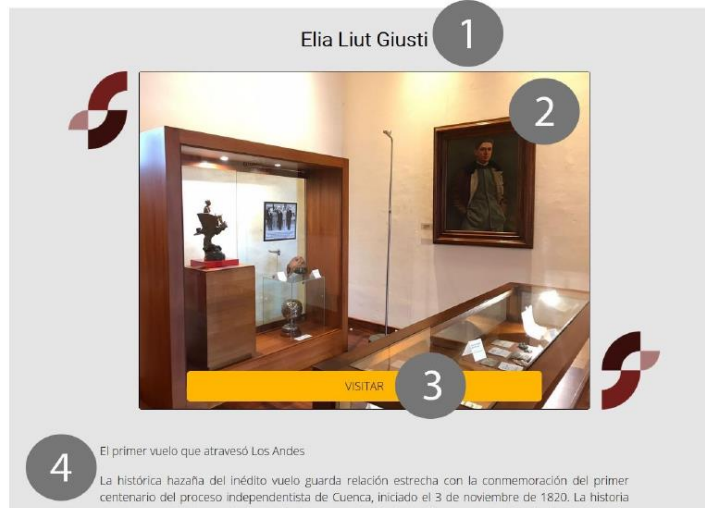
<p style="text-align: center;">Controles del entorno virtual</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Información de la pieza</p>  <p>1</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Iniciar recorrido virtual</p>  <p>2</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Siguiente paso</p>  <p>3</p> </div> </div>
<p>4. Redirección hacia la página web del GAD Municipal del Cantón Cuenca Esta funcionalidad redirecciona al usuario hacia la página web del GAD Municipal de Cuenca. Dicha página está disponible en el siguiente enlace: http://www.cuenca.gob.ec</p>

<p>5. Redirección hacia la página web de la Dirección General de Cultura, Recreación y Conocimiento Esta funcionalidad redirecciona al usuario hacia la página web de la Dirección General de Cultura, Recreación y Conocimiento. Dicha página está disponible en el siguiente enlace: https://cultura.cuenca.gob.ec</p>

<p>6. Visualización del listado de museos La aplicación permite al usuario ver un listado de los museos que ofrecen algún recorrido virtual (en este caso se cuenta con un único museo). Cada museo se muestra en una tarjeta informativa que incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Logo del museo - Nombre del museo - Descripción del museo - Botón para ingresar al museo
<p>7. Ingreso al museo Brinda al usuario la posibilidad de ingresar al museo y obtener más información sobre éste.</p>
<p>Pantalla principal del museo (1/2) Esta página muestra la información del museo y los recorridos virtuales disponibles en éste.</p>



<p>1. Retorno a la página principal del museo Permite al usuario retornar a la página principal del museo.</p>	
<p>2. Visualización de imágenes del museo Muestra fotografías del museo con su respectivo nombre.</p>	
<p>3. Visualización de información del museo Muestra información relevante del museo.</p>	
<p>Pantalla principal del museo (2/2)</p>	
<p>Esta página muestra la información del museo y los recorridos virtuales disponibles en éste.</p>	



Recorridos virtuales



1. Título del recorrido virtual
Permite al usuario identificar un recorrido virtual.
2. Fotografía del recorrido virtual
Muestra una fotografía representativa del recorrido virtual.
3. Ingreso al recorrido virtual
Permite al usuario ingresar a un recorrido virtual.
4. Descripción del recorrido virtual.
Presenta al usuario información relevante del recorrido virtual.
Página inicial del recorrido virtual



Home icon | Museo-Municipal Remigio-Crespo-Toral | Idioma | Ayuda ?

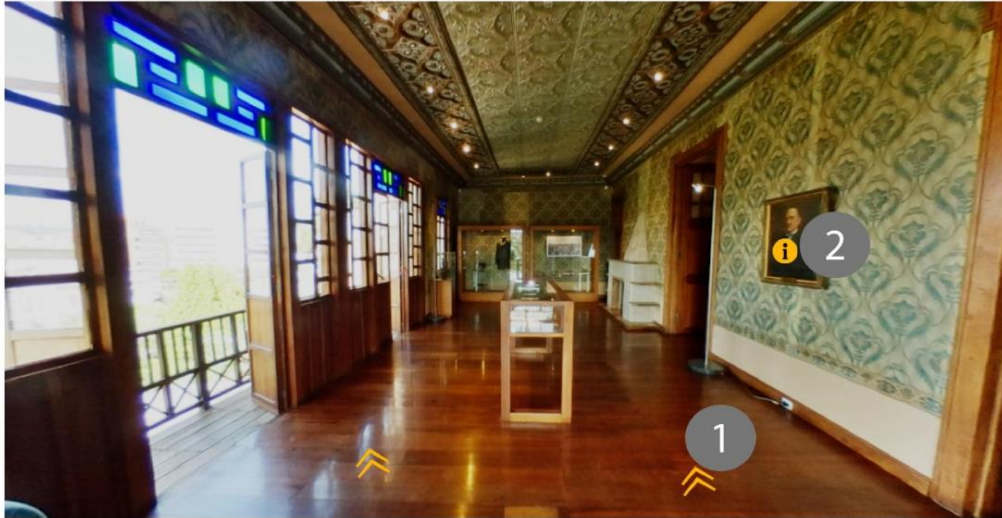
The screenshot shows a virtual tour of a museum hallway. The hallway has a polished wooden floor, a high ceiling with ornate decorations, and a wall with green and white patterned wallpaper. A framed portrait hangs on the wall. A large yellow play button icon is centered over the hallway, and a grey circle with the number '1' is positioned above it. The interface includes a home icon, the museum name 'MUSEO-MUNICIPAL REMIGIO-CRESPO-TORAL', and options for 'IDIOMA' and 'AYUDA ?'.

1. Iniciar el recorrido virtual

Íconos del recorrido virtual

Dentro del recorrido virtual existen dos íconos, los cuales se describen a continuación.



	
1. Transición entre escenas	
Permite al usuario navegar entre las diferentes escenas que conforman el recorrido virtual.	
2. Información de la pieza	
Permite visualizar una tarjeta con información de la pieza expositiva.	
Tarjeta infográfica de las piezas expositivas	
Esta tarjeta muestra al usuario información acerca de la pieza expositiva.	



Retrato de Abel Castillo (1854-1940)

Político, periodista, promotor de la aviación en el Ecuador. En 1920, adquirió un avión italiano, al que le bautizó con el nombre 'Telégrafo' y contrató al piloto, también Eliá Luit, para que piloteara el avión y llevara a efecto desde Guayaquil, la travesía de...

VER MÁS CERRAR

1. Nombre de la pieza
2. Fotografía de la pieza
3. Descripción de la pieza
4. Botón Ver Más Permite ver más información acerca de la pieza expositiva.
5. Botón Cerrar Cierra la tarjeta infográfica.
Tarjeta detalle de las piezas expositivas
Esta tarjeta muestra al usuario información detallada acerca de la pieza expositiva.



Home icon | MUSEO MUNICIPAL REMIGIO-CRESPO-TORAL | IDIOMA | AYUDA ?

1 Retrato de Abel Castillo (1854-1940)
Autor: Manuel Salas. Época: XX. Técnica: Óleo sobre lienzo.

2

3

1. Nombre y detalle de la pieza
2. Cerrar tarjeta detalle
3. Fotografía de la pieza



Museo 360

Manual técnico

Recorrido 360° de la Sala de Elia Liut y Reserva de Arqueología del Museo Municipal Remigio Crespo Toral

Fecha: 13/01/2022



Tabla de contenido

HOJA DE CONTROL	2
1. Propósito	2
2. Herramientas para el desarrollo de la aplicación	3
3. Diagrama de la base de datos	3
4. Especificación de los servicios REST	6
5. Estructura de la aplicación	6
6. Aspectos técnicos del desarrollo de la aplicación	8

HOJA DE CONTROL

Organismo	Universidad de Cuenca		
Proyecto	Recorrido 360° de la Sala de Elia Liut y Reserva de Arqueología del Museo Municipal Remigio Crespo Toral		
Entregable	Manual técnico		
Autor	Dayana Agudo Guiracocha, Christian Barreto Paredes		
Versión/Edición	1	Fecha Versión	13/01/2022
Aprobado por		Fecha Aprobación	DD/MM/AAAA
		Nº Total de Páginas	9

1. Propósito

El siguiente documento tiene como objetivo guiar al equipo de desarrollo y al analista de TICs del GAD Municipal del Cantón Cuenca sobre el diseño de la base de datos, diseño de los servicios REST y diseño de la aplicación web para el recorrido 360° de la Sala de Elia Liut y Reserva de Arqueología del Museo Municipal Remigio Crespo Toral de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

En este manual técnico se pretende dar a conocer:

- Herramientas utilizadas para el desarrollo de la aplicación.
- Diagrama de la base de datos.
- Especificación de los servicios REST.
- Estructura de la aplicación.
- Aspectos técnicos del desarrollo de la aplicación.



2. Herramientas para el desarrollo de la aplicación

En esta sección se describen las herramientas utilizadas durante el desarrollo de la aplicación:

1. OracleXE 11g: se utiliza como base de datos relacional.
2. PLSQL Developer 12: se utiliza como gestor de la base de datos.
3. Spring Boot: framework utilizado para el desarrollo de los servicios REST en el lenguaje de programación Java.
4. Spring Tool Suite 4: IDE utilizado para el desarrollo de los servicios REST.
5. ReactJs: librería utilizada para el desarrollo de la aplicación.
6. Visual Studio Code: IDE usado para el desarrollo de la aplicación.
7. Apache Maven: utilizado en los servicios REST para la gestión de librerías y para la construcción de los servicios.
8. NodeJS: utiliza NPM que ayuda en la gestión de paquetes durante el desarrollo de la aplicación.
9. GitHub: sistemas de control de versiones Git.
10. SmartGit: cliente gráfico de Git, usado para la gestión de versiones tanto de los servicios como de la aplicación.
11. Postman: cliente gráfico que permite consumir los servicios.

3. Diagrama de la base de datos

Esta sección describe el diseño de la base de datos. La Figura 1 muestra el diagrama Entidad – Relación de la base de datos. En ella se presentan los nombres de las tablas, nombre de los campos, su tipo de dato, si puede o no ser un campo nulo y comentarios sobre éste.

A continuación, se describen las entidades que conforman la base de datos:

IMAGEN	
Esta entidad contiene información de las imágenes que se muestran en el carrusel de la aplicación.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
TITULO	Título de la imagen.
URL	Ubicación de la imagen en el proyecto.
ID_MUSEO	Clave foránea del museo.

IDIOMA	
Esta entidad contiene información de los idiomas disponibles en la aplicación.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
ABREVIATURA	Abreviatura del idioma utilizado para realizar la traducción de la página.
NOMBRE	Nombre del idioma.

AYUDA	
Esta entidad contiene información del panel de ayuda del entorno virtual.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
ESPACIO_COLUMNNA	Información del ancho de la columna que se muestra en el panel de ayuda.
NOMBRE	Nombre del panel de ayuda.

PANEL	
Esta entidad contiene información de los controles del entorno virtual.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.



ICONO	Ubicación de la imagen del ícono mostrado en la aplicación.
TITULO	Nombre del ícono.
ID_AYUDA	Clave foránea de la entidad ayuda.

MARCA	
Esta entidad contiene información de las marcas de agua de la aplicación.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
DESCRIPCION	Descripción de la marca.
URL	Ubicación de la imagen de la marca de agua.

MUSEO	
Esta entidad contiene información del museo.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
DESCRIPCION	Descripción del museo.
DIRECCION	Dirección del museo.
EMAIL	Correo electrónico del museo.
IMG	Ubicación de la imagen principal del museo.
NOMBRE	Nombre del museo.
TELEFONO	Teléfono del museo.
COLOR	Color del museo.
INFORMACION	Información detallada del museo.
LOGO_TARJETA	Ubicación del logo que aparece en la tarjeta que muestra la descripción del museo.
LOGO_CABECERA	Ubicación del logo que aparece en la cabecera de la aplicación.
MARCA_CABECERA	Clave foránea de la marca de agua que aparece en la cabecera de la aplicación.
MARCA_CARRUSEL	Clave foránea de la marca de agua que aparece en el carrusel de la aplicación.
MARCA_INFORMACION	Clave foránea de la marca de agua que aparece en la información del museo.
MARCA_TARJETA	Clave foránea de la marca de agua que aparece en la tarjeta del museo.

EXPOSICION	
Esta entidad contiene información de los recorridos virtuales.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
DESCRIPCION	Descripción del recorrido virtual.
EXPOSICION_PERMANENTE	Indica si la exposición permanente.
IMG	Ubicación de la imagen principal de la exposición.
NOMBRE	Nombre de la exposición.
ID_MUSEO	Clave foránea del museo.
MARCA_INFERIRO	Clave foránea de la marca de agua de la parte inferior de la imagen.
MARCA_SUPERIOR	Clave foránea de la marca de agua de la parte superior de la imagen.

SALA



Esta entidad contiene información de las imágenes 360° de cada escena del recorrido virtual.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
IMG	Ubicación de la imagen de la escena.
NOMBRE	Nombre de la escena.
ID_EXPOSICION	Clave foránea del recorrido.

POSICION	
Esta entidad contiene información de la posición de un objeto en el recorrido virtual.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
POSICION_X	Posición en el eje x del entorno virtual.
POSICION_Y	Posición en el eje y del entorno virtual.
POSICION_Z	Posición en el eje z del entorno virtual.

ROTACION	
Esta entidad contiene información de la rotación de un objeto en el recorrido virtual.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
ROTACION	Indica la rotación de un objeto (en grados).

TRANSICION	
Esta entidad contiene información de las transiciones entre escenas en el recorrido virtual.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
ID_POSICION	Clave foránea de la entidad posición.
ID_ROTACION	Clave foránea de la entidad rotación.
ID_SALA_DESTINO	Clave foránea de la entidad sala. Corresponde a la sala destino de la transición.
ID_SALA_ORIGEN	Clave foránea de la entidad sala. Corresponde a la sala origen de la transición.
ID_POS_CAMARA	Clave foránea de la entidad posición. Indica la posición inicial de la cámara.

PIEZA	
Esta entidad contiene información de las piezas que se muestran en el entorno virtual.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
ANIO	Año de referencia de la pieza.
AUTOR	Autor de la pieza.
DESCRIPCION	Descripción de la pieza.
EPOCA	Época de la pieza.
IMG	Ubicación de la imagen de la pieza.
MATERIAL	Material de la pieza.
NOMBRE	Nombre de la pieza.
TECNICA	Técnica de la pieza.
TIP_CLASS_GEN	Tipo de la pieza.
ID_POSICION	Clave foránea de la entidad posición.
ID_SALA	Clave foránea de la entidad sala.
MULTIMEDIA	Tipo de multimedia.



CULTURA	Cultura a la que pertenece la pieza.
DIMENSIONES	Dimensiones de la pieza.
FILIACION	Región a la que pertenece la pieza.
PERIODO	Período de la pieza.

SALA_PIEZA	
Esta entidad contiene información de la relación entre la pieza y la sala.	
CAMPO	DESCRIPCIÓN
ID	Clave primaria de la entidad.
ID_PIEZA	Clave foránea de la entidad pieza.
ID_POSICION	Clave foránea de la entidad posición.
ID_SALA	Clave foránea de la entidad sala.

4. Especificación de los servicios REST

En esta sección se describen los servicios creados para el funcionamiento de la aplicación. Utilizando la herramienta Postman se ha generado la documentación que está disponible en la siguiente URL: <https://documenter.getpostman.com/view/12019125/UVXjHv2j>

5. Estructura de la aplicación

A continuación, se describe la estructura de la aplicación. En la Figura 2 se muestran las dos carpetas principales de la aplicación, las cuales son: la carpeta *public* y *src*. También, se muestra el archivo de configuración *package.json*.

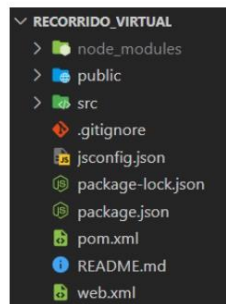


Figura 2. Estructura de la aplicación

El archivo **package.json** contiene todas las dependencias necesarias para la ejecución de la aplicación.

La carpeta **public** tiene la estructura que se muestra en la Figura 3. Esta carpeta contiene los archivos de estilo (css), las imágenes que se ocupan en la aplicación y el archivo principal de la aplicación (index.html).

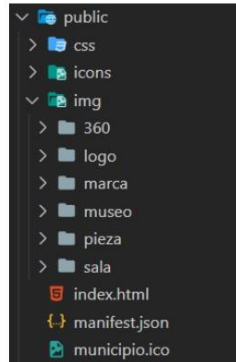


Figura 3. Estructura de la carpeta public

La carpeta **src** contiene los componentes de la aplicación y se muestra en Figura 4. Estos componentes se describen a continuación:

- **components**: contiene los componentes base (cabecera, cuerpo y pie de página) y general (componentes que se renderizan en las vistas de: Ayuda, Exposición, Museo, NotFound y Sala) de la aplicación.
- **context**: contiene el archivo sistemaContext.js, en donde se declaran las variables y funciones globales para la aplicación.
- **pages**: contiene las vistas de la aplicación.
- **services**: contiene los archivos api.js y useConsulta.js, que permite el consumo de los servicios.
- **útil**: contiene el archivo constantes.js, en donde se declaran las constantes para la aplicación.
- **App.js**: este archivo realiza el enrutamiento de cada una de las vistas.
- **Index.js**: es el archivo principal del proyecto, que renderiza los HTML.
- **temaConfig.js**: este archivo define el tipo y tamaño de fuente y colores principales de la aplicación.

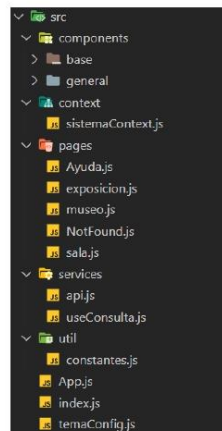


Figura 4. Estructura de la carpeta src



6. Aspectos técnicos del desarrollo de la aplicación

En esta sección se describen los paquetes utilizados para el desarrollo de la aplicación, los cuales son:

- @material-ui/core: versión 4.12.3, proporciona una biblioteca robusta, personalizable y accesible de componentes básicos y avanzados para el diseño de las interfaces gráficas.
- @material-ui/icons: versión 4.11.2, este paquete proporciona los íconos de material de Google.
- @react-three/drei: versión 7.12.6, es una colección de helpers y abstracciones para react-three-fiber.
- @react-three/fiber: versión 7.0.10, es un renderizador React para threejs.
- three: versión 0.133.1, es una biblioteca escrita en JavaScript para crear y mostrar gráficos 3D en un navegador web.
- react-responsive-carousel: versión 3.2.22, es un componente de carrusel potente, ligero y totalmente personalizable para aplicaciones React.
- react-router-dom: versión 5.3.0, es un paquete que contiene enlaces para usar React Router en aplicaciones web.

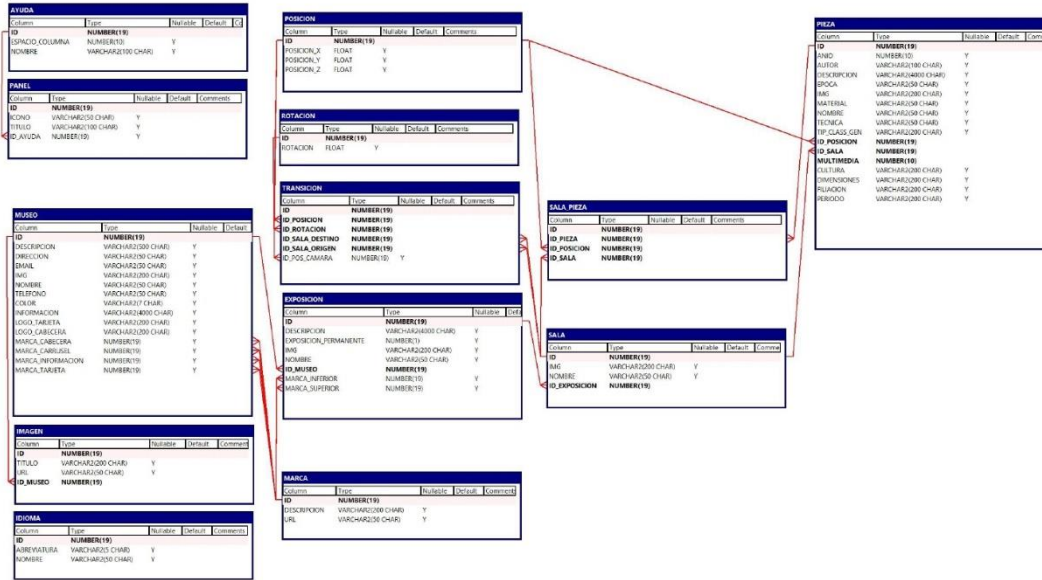


Figura 1. Diagrama de la base de datos



Anexo 4. Informe de finalización del proyecto



cuenca
ALCALDÍA

DIRECCIÓN DE CULTURA,
RECREACIÓN Y CONOCIMIENTO

Oficio Nro. DGCRC-0060-2022

Cuenca, 19 de enero de 2022

Ingeniero
Luis Otto Parra González
Profesor
FACULTAD DE INGENIERIA DE UNIVERSIDAD DE CUENCA
Presente.

De mi consideración,

Reciba un cordial y atento saludo de la Dirección de Cultura, Recreación y Conocimiento (DGCRC).

Por medio del presente y en respuesta a su Oficio Nro. EXT-35353-2021, me permito agradecer por intermedio suyo a la Universidad de Cuenca y a los estudiantes Dayana Agudo y Christian Barreto quienes han demostrado mucha responsabilidad y trabajo en el desarrollo de su proyecto de tesis mismo que busca desarrollar y evaluar una metodología para la creación de aplicaciones basadas en realidad extendida. Como Dirección de Cultura, Recreación y Conocimiento a través del Museo Remigio Crespo Toral, hemos brindado toda la apertura y el apoyo para que el levantamiento de la información y acceso a los archivos por parte de los estudiantes sea llevado de manera satisfactoria.

En este sentido una vez revisado el trabajo realizado por los estudiantes en mención y de haber aprobado la información, me permito remitir adjunto al presente Oficio los informes tanto de la Dirección de Tecnologías de la información y Comunicación como de la Dirección de Cultura, Recreación y Conocimiento, en los cuales podrá evidenciar el trabajo realizado, así como nuestra aprobación y la notificación de conclusión satisfactoria del proyecto.

Finalmente, agradezco la oportunidad que nos han brindado a través de este proyecto de promover nuestras salas expositivas de una manera más cómoda y amigable con la ciudadanía. Así como, reitero nuestra disposición y apertura para colaborar en iniciativas que surjan para el beneficio mutuo.

Con sentimientos de distinguida consideración, suscribo.

Atentamente,



firmado electrónicamente por:
LILIA TAMARA
LANDIVAR
VILLAGOMEZ

Mgst. Lilia Tamara Landivar Villagomez

DIRECTORA GENERAL DE CULTURA, RECREACION Y CONOCIMIENTO

Referencias:
- EXT-35353-2021

Anexos:
- 35353.pdf
- MEMO-MMRCT-0015-2022-signed.pdf
- INFORME FINAL RECORRIDO VIRTUAL DE LA SALA DE ELIA LIUT Y RESERVA

DIRECCIÓN DE CULTURA,
RECREACIÓN Y CONOCIMIENTO

Gran Colombia y Benigno Malo
(Planta baja)
Teléfono: 4134900 Ext: 2062
Cuenca, Ecuador
www.cuenca.gob.ec

@MunicipioCuenca
 @MunicipioDeCuenca



UNIVERSIDAD DE CUENCA



cuenca
ALCALDÍA

DIRECCIÓN DE CULTURA,
RECREACIÓN Y CONOCIMIENTO

Oficio Nro. DGCRC-0060-2022

Cuenca, 19 de enero de 2022

ARQUEOLOGICA-signed.pdf
- Informe_museos_360-signed-signed.pdf

Copia:

Magister
Gabriela Tatiana Brito Andrade
Coordinadora General de Desarrollo Humano

NUT: IMC-2021-103729

MM



DIRECCION DE CULTURA,
RECREACIÓN Y CONOCIMIENTO

Gran Colombia y Benigno Malo
(Planta baja)
Teléfono: 4134900 Ext: 2062
Cuenca, Ecuador
www.cuenca.gob.ec

 @MunicipioCuenca
 @MunicipioDeCuenca

2/2