



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

Realidad aumentada basada en seguimiento de imágenes
para visitar el Museo de Informática de la ETSINF

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Informática

AUTOR/A: Cubedo Hurtado, Nieves

Tutor/a: Juan Lizandra, María Carmen

Cotutor/a: García Granada, Fernando

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

El avance de las nuevas tecnologías ha cambiado radicalmente nuestro estilo de vida. El acceso al conocimiento está disponible a tan solo unos clics de distancia. Esta inmediatez ha provocado que la sociedad sea cada vez más exigente. Los museos tradicionales se enfrentan a un gran desafío para mantenerse competitivos y atractivos. Su modernización incorporando las nuevas tecnologías a sus exposiciones puede ser la solución. En concreto, la realidad aumentada puede contribuir a crear nuevas formas de obtener conocimiento a través de experiencias inmersivas e interactivas.

El objetivo de este TFM es el desarrollo de una solución que utilice la tecnología de realidad aumentada basada en seguimiento de imágenes para mejorar la experiencia de los visitantes al explorar dos piezas del museo de informática: el ábaco japonés y las memorias de ferrita. Además, se propone realizar una aplicación centralizada que facilite el acceso a las distintas aplicaciones actuales y futuras de las que dispone y dispondrá el museo.

Palabras clave: realidad aumentada, Android, seguimiento basado en imágenes, ábaco, memoria de ferrita.

Abstract

The progress of new technologies has radically changed our lifestyle. Access to knowledge is available just a few clicks away. The society has become increasingly demanding due to this immediacy. Traditional museums face a great challenge to remain competitive and attractive. Its modernization by incorporating new technologies into its exhibitions may be the solution. Specifically, augmented reality can help to create new ways of obtaining knowledge through immersive and interactive experiences.

The objective of this Master's Thesis is the development of a solution that uses image-based augmented reality technology to improve the visitors experience while exploring two pieces of the computer science museum: the Japanese abacus and the magnetic-core memories. In addition, it is proposed to create a centralized application to gather the access to the different current and future applications available at the museum.

Keywords: augmented reality, Android, image target, abacus, magnetic-core memory



Índice de contenidos

1.	Introducción	10
1.1.	Motivación.....	10
1.2.	Objetivos.....	11
1.3.	Impacto.....	12
1.4.	Metodología.....	12
1.5.	Estructura.....	12
2.	Estado del arte.....	15
2.1.	Realidad aumentada.....	15
2.2.	Museos y realidad aumentada.....	15
2.2.1.	Guías.....	16
2.2.2.	Reconstrucciones históricas	19
2.2.3.	Seguimiento de imágenes.....	21
2.3.	Aplicaciones educativas del ábaco japonés	22
2.3.1.	Simple Soroban	23
2.3.2.	Abacus Lesson	24
2.4.	Visualizador de Realidad Aumentada	25
2.5.	Propuesta.....	26
3.	Análisis	29
3.1.	Requisitos funcionales.....	29
3.2.	Requisitos no funcionales.....	32
3.3.	Análisis de riesgos	33
4.	Solución propuesta	36
4.1.	Diseño de la solución.....	36
4.1.1.	Abacus	36
4.1.2.	MCM	38
4.1.3.	Launcher.....	39
4.2.	Tecnología utilizada.....	41
4.2.1.	Blender	41
4.2.2.	Unity	42
4.2.3.	Vuforia	42
4.2.4.	Visual Studio.....	43
4.2.5.	Canva	43



4.3.	Desarrollo de la propuesta	43
4.3.1.	Abacus	43
4.3.2.	MCM.....	47
4.3.3.	Launcher.....	49
5.	Validación.....	53
6.	Conclusiones.....	60
6.1.	Trabajos futuros	60
6.2.	Relación del trabajo desarrollado con los estudios cursados	61
7.	Bibliografía	63
Anexo.	Objetivos de desarrollo sostenible.....	67

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Lectura de una imagen de la guía virtual del Ecomuseu de Brasil	17
Ilustración 2: Simulación del incendio de la capilla de MRT Virtual	18
Ilustración 3: Visita guiada de Casa Batlló	18
Ilustración 4: Google Tango en el Museo Nacional de Singapur	19
Ilustración 5: Mandril virtual visualizado en la aplicación Skin and Bones	20
Ilustración 6: Captura de la aplicación de las dos estatuas Ni-Tennō	21
Ilustración 7: Comparativa antes y después de usar ARCoins	21
Ilustración 8: Obra de arte virtual exhibida en la calle gracias a Art of London	22
Ilustración 9: Simple Soroban tutorial	23
Ilustración 10: Lección en Abacus Lesson	24
Ilustración 11: Modelo del marco del ábaco en Augment	25
Ilustración 12: Mockup del modo libre de Abacus	36
Ilustración 13: Mockup del tutorial de Abacus	37
Ilustración 14: Mockup de un ejercicio de suma de Abacus	37
Ilustración 15: Mockup de personalización de Abacus	38
Ilustración 16: Mockup de MCM con el menú desplegado	38
Ilustración 17: Mockup de MCM con el menú oculto	39
Ilustración 18: Mockup introducción de MCM	39
Ilustración 19: Mockup inicial de Launcher	40
Ilustración 20: Mockup definitivo de Launcher	40
Ilustración 21: Mockup añadir aplicación de Launcher	41
Ilustración 22: Modelo del marco del ábaco japonés en Blender	44
Ilustración 23: Modelo de un disco en Blender	44
Ilustración 24: Problema por caras invertidas en Unity	44
Ilustración 25: Image target de Abacus	45
Ilustración 26: Modo libre de Abacus	45
Ilustración 27: Modo suma de Abacus	46
Ilustración 28: Tutorial sobre el uso del ábaco de Abacus	46
Ilustración 29: Personalización de operandos de Abacus	47
Ilustración 30: Image target de MCM	47
Ilustración 31: Interfaz inicial sin imagen de MCM	48
Ilustración 32: Reconocimiento de la imagen de MCM	48
Ilustración 33: Zoom de una imagen de MCM	49
Ilustración 34: Descripción de las memorias de núcleos de ferrita en MCM	49
Ilustración 35: Interfaz principal de Launcher	50
Ilustración 36: Interfaz Añadir aplicación de Launcher	51
Ilustración 37: Boxplot preguntas de presencia	55
Ilustración 38: Boxplot preguntas de usabilidad y satisfacción	55
Ilustración 39: Benchmark del cuestionario UEQ	56
Ilustración 40: Nube de palabras para la pregunta describe la experiencia	57
Ilustración 41: Nube de palabras de mejoras posibles	57
Ilustración 42: Nube de palabras sobre comentarios libres	58

Índice de tablas

Tabla 1: Requisito funcional A1-RF1: Visualizar cámara	29
Tabla 2: Requisito funcional A1-RF02: Visualizar ábaco	29
Tabla 3: Requisito funcional A1-RF03: Interactuar con el ábaco.....	30
Tabla 4: Requisito funcional A1-RF04: Reiniciar ábaco.....	30
Tabla 5: Requisito funcional A1-RF05: Visualizar tutorial	30
Tabla 6: Requisito funcional A1-RF06: Ejercicio suma	30
Tabla 7: Requisito funcional A1-RF07: Ejercicio Resta.....	30
Tabla 8: Requisito funcional A1-RF08: Ejercicio multiplicación	31
Tabla 9: Requisito funcional A1-RF09: Configuración de operandos	31
Tabla 10: Requisito funcional A2-RF01: Visualizar cámara	31
Tabla 11: Requisito funcional A2-RF02: Visualizar imágenes	31
Tabla 12: Requisito funcional A2-RF03: Visualizar vídeos	31
Tabla 13: Requisito funcional A2-RF04: Visualizar información	32
Tabla 14: Requisito funcional A3-RF01: Añadir aplicación	32
Tabla 15: Requisito funcional A3-RF02: Eliminar aplicación.....	32
Tabla 16: Requisito funcional A3-RF03: Ejecutar aplicación	32
Tabla 17: R01 Falta de conocimientos en las tecnologías utilizadas.....	33
Tabla 18: R02 Incompatibilidad con el dispositivo.....	34
Tabla 19: R03 Bajo rendimiento.....	34
Tabla 20: R04 Planificación inadecuada.....	34
Tabla 21: R05 Elección inadecuada de usuarios para la validación.....	34
Tabla 22: R06 Baja temporal de un empleado	34
Tabla 23: Preguntas de presencia	53
Tabla 24: Preguntas de usabilidad y satisfacción	53
Tabla 25: Preguntas UEQ	54

1. Introducción

En el pasado visitar un museo era una experiencia única. Salas llenas de artefactos de culturas lejanas, pinturas y esculturas te sumergían en una época o lugar lejanos. Durante la visita, la única forma de obtener más información sobre las distintas piezas consistía en leer las placas y folletos del museo o realizar una visita guiada. En muchas ocasiones, si el visitante no poseía conocimientos previos sobre el tema y no conseguía realizar una visita guiada, perdía gran parte de información acerca del contexto de las piezas.

El avance de las nuevas tecnologías está suponiendo una revolución en todos los sectores y aspectos de nuestra vida. En este contexto, el acceso al conocimiento nunca había sido tan sencillo, estando disponible a tan solo unos clics de distancia. La mayoría de las personas se ha acostumbrado a siempre llevar consigo un dispositivo móvil con conexión a internet. Podemos explorar una amplia variedad de imágenes, vídeos, textos y otros contenidos en cualquier momento, satisfaciendo cualquier necesidad de información inmediata. Todo ello, no solo ha cambiado la forma en la que se adquiere el conocimiento, donde antiguamente se recurría a enciclopedias, revistas o museos; sino que aumenta las expectativas sobre cómo se debe acceder a dicha información.

Los museos tradicionales se enfrentan a un gran desafío. Actualmente, las visitas a los museos empiezan a percibirse cada vez más como experiencias monótonas, sobre todo entre el público joven. Los museos cumplen un papel fundamental no solo por su carácter divulgativo, sino por su labor en la protección e investigación del patrimonio cultural, es por ello por lo que es vital que los museos tomen las riendas y empiecen a incorporar las nuevas tecnologías a sus exposiciones. Además, esta modernización puede ayudar obtener experiencias didácticas más interactivas que faciliten la adquisición de conocimientos a los visitantes, o incluso puede traer mejoras en las gestiones internas de sus procesos de gestión.

1.1. Motivación

Hoy en día los museos se encuentran en una situación comprometida para mantenerse competitivos para conseguir visitantes, sobre todo público joven. Es imprescindible que estas instituciones comiencen a actualizarse introduciendo las nuevas tecnologías a sus instalaciones. Esto no solo puede influir positivamente sobre el número de visitantes que reciben, sino cambiar radicalmente la experiencia del público y su forma de obtener nuevos conocimientos.

Por esto, una de las principales motivaciones de este TFM surge de la necesidad de modernización que presenta el Museo de Informática para atraer nuevo público y la búsqueda de nuevas formas de divulgar el conocimiento. En este contexto, la realidad aumentada es ideal para crear experiencias inmersivas donde los visitantes puedan interactuar de nuevas formas con su entorno.

La realidad aumentada siempre me ha parecido realmente fascinante, probablemente debido a mi pasión por los videojuegos. Existen propuestas realmente innovadoras que utilizan esta tecnología para demostrar todo su potencial. De hecho, uno de mis juegos favoritos durante mi infancia era un juego de PSP que utiliza realidad aumentada basada en marcadores llamado "Invizimals". Por ello, cuando surgió la oportunidad de realizar mi TFM utilizando esta tecnología me hizo mucha ilusión.

Además, mi objetivo era desarrollar una solución que aportase valor. Quería desarrollar una aplicación funcional en un entorno real. Este TFM trata de crear una solución que mejore las exposiciones del Museo de Informática, permitiendo al público interactuar y aprender de nuevas formas. Me parece una oportunidad única la posibilidad de combinar mis intereses personales con el desarrollo de una solución práctica y funcional.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este TFM es desarrollar y validar una solución que utilice la tecnología de realidad aumentada basada en seguimiento de imágenes para mejorar las exposiciones del Museo de Informática de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica (ETSINF) de la Universitat Politècnica de València (UPV). El propósito de esta solución es conseguir una experiencia más interactiva e inmersiva que fomente el aprendizaje y la comprensión de conocimiento. Para alcanzar este objetivo principal se definen los siguientes objetivos específicos:

- Implementar una herramienta que permita a los visitantes del museo visualizar y manipular unas réplicas virtuales de piezas del museo específicas mediante el uso de realidad aumentada.
- Implementar una herramienta que facilite el acceso a las distintas aplicaciones del Museo.
- Incrementar el atractivo del museo mediante la incorporación de las nuevas tecnologías.
- Fomentar el aprendizaje a través de un entorno interactivo e inmersivo que permita a los visitantes involucrarse más en la exposición y aprender de forma divertida.
- Garantizar que las aplicaciones puedan ser fácilmente integradas en el museo.
- Fomentar el interés por las piezas del museo y su conservación al aprender más sobre ellas y su funcionamiento.
- Validar la solución desarrollada mediante pruebas con voluntarios para evaluar la experiencia del usuario, la usabilidad y realismo de la solución.

1.3. Impacto

Se espera que la solución desarrollada ofrezca a los visitantes una nueva forma de disfrutar los museos. A través de esta experiencia, los visitantes podrán mejorar su comprensión sobre las piezas que forman parte de la colección del museo al poder interactuar con ellas en un entorno de realidad aumentada. Es posible que, al poder interactuar con las piezas, los visitantes lleguen a formar ciertos vínculos o lazos afectivos hacia dichas piezas, incrementando el interés y el aprendizaje sobre dichas piezas o incluso adquiriendo un interés hacia la importancia de su conservación.

También se espera generar un impacto positivo entre el personal del museo al aglutinar todas las aplicaciones del museo en una misma aplicación, lo cual les ayudará a agilizar las visitas guiadas. Además, las aplicaciones de realidad aumentada pueden ayudar a facilitar la explicación de algunas piezas como el ábaco al poder demostrar visualmente su funcionamiento completo.

1.4. Metodología

A continuación, se proponen una serie de pasos a seguir para lograr el cumplimiento de los objetivos:

- 1) Planteamiento del problema y definición de los objetivos
- 2) Análisis de las soluciones existentes
- 3) Definición de los requisitos y los riesgos
- 4) Diseño de la solución propuesta
- 5) Desarrollo de las soluciones necesarias
- 6) Validación de la solución desarrollada y análisis de los datos obtenidos

1.5. Estructura

Este TFM se encuentra dividido en distintos capítulos para organizar el contenido. A continuación, se procede a describir brevemente cada uno de ellos:

En primer lugar, se encuentra la introducción, donde se comenta la idea general del TFM. En este capítulo, se habla sobre las principales motivaciones para desarrollarlo, se describen los objetivos e impacto esperados y se explica qué metodología se ha escogido.

En el capítulo 2 se describe el estado del arte. Este es un capítulo donde se analiza el contexto actual de la tecnología escogida aplicada al entorno donde se planea implantar. Además, se estudiarán otras aplicaciones existentes en el mercado y se presentará la propuesta ideada.

En el capítulo 3 se comentará el análisis de la solución. Comenzando por un análisis de requisitos tanto funcionales, como no funcionales y finalizando con un análisis de los riesgos que pueden afectar al TFM.

El capítulo 4 trata sobre la solución propuesta. En este capítulo, se mostrarán los diseños elaborados, se describirá la tecnología escogida y se explicarán los principales desafíos enfrentados durante el desarrollo de la propuesta.

El capítulo 5 está dedicado a la validación de la solución, donde se realiza una serie de pruebas con voluntarios para evaluar la robustez y usabilidad de la solución.

Finalmente, en el capítulo 6 se exponen las conclusiones y trabajos futuros.



2. Estado del arte

2.1. Realidad aumentada

El avance de las nuevas tecnologías está cambiando radicalmente nuestra visión del mundo y nuestra forma de interactuar con él. Tecnologías como la inteligencia artificial o el internet de las cosas, que se utilizaban tradicionalmente para representar tecnologías futurísticas en películas de ciencia ficción, están cada día más integradas en nuestra vida cotidiana. Una de estas tecnologías es la realidad aumentada, la cual destaca por sus grandes avances en los últimos años.

La realidad aumentada (Azuma, 1997) permite fusionar el mundo real y el mundo digital, redefiniendo nuestra forma de interactuar con la información. Esto se consigue superponiendo elementos virtuales sobre el mundo real, permitiendo interactuar en tiempo real con dichos elementos. Debido a sus similitudes, se suele confundir con la realidad virtual; sin embargo, esta se caracteriza por introducir al usuario en un mundo digital sin conexiones con el mundo real, de modo que se ve completamente inmerso en él. De esta forma, la realidad virtual intenta reemplazar el mundo real con un mundo totalmente ficticio, mientras que la realidad aumentada complementa al mundo real añadiendo elementos virtuales a este.

La realidad aumentada es una tecnología puntera con aplicaciones en una amplia variedad de sectores, como puedan ser el educativo (Furió et al., 2014; Mendez-Lopez et al., 2016; Calle-Bustos et al., 2017), el odontológico (Juan et al., 2016), el psicológico (Juan et al., 2005), el turístico (Ronaghi & Ronaghi, 2022) o incluso el sanitario (Mendez-Lopez et al., 2024). No obstante, en este TFM se abordará específicamente su uso en el ámbito museístico. Un ámbito que está sufriendo toda una revolución gracias a los avances de las nuevas tecnologías, logrando crear experiencias más inmersivas y accesibles a sus visitantes.

2.2. Museos y realidad aumentada

Se cree que la palabra *museo* puede tener su origen en la palabra griega *Mouseion* que significa «casa de las musas» (Alonso, 1993). Las nueve musas, hijas de Zeus, custodiaban diversas artes y disciplinas entre las que encontramos: la historia, la poesía, la música, la tragedia, la comedia, la retórica, la danza, la astronomía y la elocuencia. Resulta apropiado que el concepto de museo se base en estas deidades defensoras de las artes y las letras de la mitología clásica.

Un museo¹ es una institución encargada de adquirir, conservar, estudiar y exponer al público un conjunto de elementos que poseen un alto valor cultural, histórico, artístico o científico. El papel de estas instituciones no se limita a la conservación y el estudio de objetos de gran importancia, sino también a la difusión del conocimiento y la

¹ <https://dle.rae.es/museo>

educación. Al ofrecer acceso a sus colecciones, los museos logran acercar a sus visitantes diferentes culturas, épocas y conocimientos, permitiendo que el público tenga la oportunidad de disfrutar y aprender sobre elementos que, de otra forma, serían inaccesibles. Por todo esto, los museos son fundamentales para fomentar el enriquecimiento intelectual y cultural de la sociedad.

Los museos son los grandes templos del conocimiento moderno; sin embargo, en un mundo cada vez más digitalizado, donde el público es cada vez más exigente, estas instituciones deben poner el foco en mantenerse competitivas y atractivas. Los museos pueden lograr este objetivo modernizándose a través de la incorporación de las nuevas tecnologías a sus exposiciones. Una de estas herramientas es la realidad aumentada, la cual puede ayudar a obtener una experiencia mucho más inmersiva para sus visitantes al permitir interactuar con elementos virtuales que se encuentran sobre el mundo real. De esta forma, se podría añadir más información sobre determinadas obras o incluso permitiría interactuar con ciertos elementos que en cambio estarían tras una vitrina, facilitando y profundizando el aprendizaje de conocimientos al ser una experiencia más personalizada y emocionante.

Existen diferentes tipos de aplicaciones de la realidad aumentada, no obstante, se pondrá el foco en algunos de los más relevantes dentro de un entorno museístico (Ruiz, 2010).

2.2.1. Guías

La evolución de las guías de los museos avanza un paso más con la incorporación de la tecnología de realidad aumentada. Además de las funciones básicas de cualquier guía como ver el mapa o alguna información relevante del museo, estas guías permiten realizar un escaneado de las obras con el fin de poder ver información adicional sobre ellas, así como realizar recorridos por sus salas obteniendo información en tiempo real acerca de las mismas.

El Ecomuseu de la ciudad brasileña de Foz do Iguaçu (Teixeira, 2022) cuenta con una guía virtual interactiva con elementos de realidad aumentada. Esta guía funciona como un juego. Los visitantes recorren el museo buscando las seis imágenes o “puntos de captura” repartidos por el museo para enfocarlos con sus dispositivos móviles. En ese momento, aparece una misión que deben completar, aparece un objeto o modelo 3D con un botón de “captura”. Si pulsan el botón de captura aparece información textual y sonora dependiendo de la imagen registrada. Además, en la opción “Saber más”, se muestra información extra con imágenes y una pregunta. Si responde correctamente la pregunta, puede seguir avanzando al siguiente “punto de captura”. El usuario solo tiene acceso a la información de los puntos en los cuales haya logrado atrapar a su mascota. El objetivo es enseñar el trabajo de la central hidroeléctrica de Itaipú y la historia de la región de una forma divertida y amena. En la Ilustración 1 se muestra uno de los puntos de captura en el que aparece un globo aerostático con la mascota de ese punto.



Ilustración 1: Lectura de una imagen de la guía virtual del Ecomuseu de Brasil

Los Museos Reales de Turín lanzaron en 2021 una innovadora aplicación móvil llamada MRT Virtual². Esta aplicación permite conocer en mayor profundidad las diferentes exposiciones del museo convirtiendo su visita en una experiencia inmersiva y dinámica. Entre sus funciones se incluye un modo de realidad aumentada que permite ver una simulación del devastador incendio que se produjo en la Capilla Real de la catedral (Ilustración 2), añadiendo realismo y crudeza a la sala al poder imaginar más vívidamente lo sucedido. Además, la aplicación permite escanear monumentos de manera que aparecen distintos puntos de interés sobre los cuales permiten obtener más información de una forma interactiva y emocionante.

² <https://visivalab.com/es/portfolio-item/mrt-virtual-app-de-guia/>



Ilustración 2: Simulación del incendio de la capilla de MRT Virtual

En la Casa Batlló³ (Gimeno et al., 2017) en Barcelona han apostado por introducir una visita guiada con realidad aumentada centrada en descubrir todos los detalles y símbolos ocultos en esta obra de Gaudí. La aplicación permite escanear las distintas habitaciones y elementos arquitectónicos del edificio, permitiendo a los visitantes observar cuales fueron las fuentes de inspiración del arquitecto en las formas orgánicas y naturales visibles en cada rincón del edificio. En la Ilustración 3 se puede ver un ejemplo de cómo es el funcionamiento de esta aplicación. Además, también ofrece la posibilidad de imaginar cómo era la vida de las personas que habitaban ese lugar mediante la representación de una recreación del mobiliario de la época, consiguiendo así transportar una parte de la esencia de aquellos tiempos al presente.

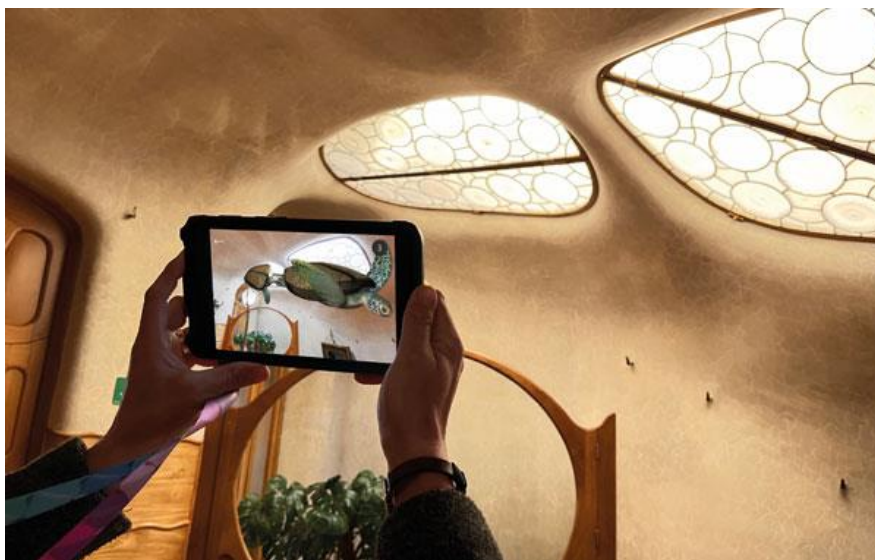


Ilustración 3: Visita guiada de Casa Batlló

³ <https://www.casabatllo.es/novedades/nueva-visita-inmersiva/>

2.2.2. Reconstrucciones históricas

La realidad aumentada se muestra como una herramienta poderosa para mejorar la comprensión de la historia mediante las reconstrucciones históricas detalladas de edificios y épocas pasadas. Por ejemplo, se puede utilizar para comparar el estado actual de unas ruinas con la gloria pasada de un castillo medieval mediante una recreación basada en estudios arqueológicos, aportando una visión más completa del patrimonio.

El Museo Nacional de Singapur⁴ ha adoptado la plataforma Google Tango, para crear una novedosa guía de realidad virtual. Su principal particularidad es que cuenta con un modo “máquina del tiempo” donde muestra como era el museo hace 130 años. Gracias a esta experiencia, se puede ver la evolución del edificio a lo largo de sus 130 años de historia, así como observar los distintos objetos que estuvieron exhibidos en el pasado. La Ilustración 4 muestra una réplica virtual del esqueleto de una ballena suspendida en el techo del museo.



Ilustración 4: Google Tango en el Museo Nacional de Singapur

El Museo Smithsonian de Historia Natural⁵ lanzó en 2015 una aplicación móvil gratuita llamada *Skin and Bones* para complementar su exhibición de esqueletos vertebrados. Esta aplicación de realidad aumentada permite a los visitantes ver una recreación del animal sobre su esqueleto expuesto en el museo, facilitando una comprensión más profunda de la anatomía y el aspecto de estos animales. Además, la aplicación cuenta con múltiples funciones, como ver información detallada de los animales, videos explicativos, animaciones y actividades, las cuales enriquecen la experiencia del visitante. En la Ilustración 5 se puede observar un mandril representado sobre su esqueleto expuesto en el Museo.

⁴ <https://sagg.info/retrace-the-history-of-the-national-museum-of-singapore-with-tango-enabled-architectural-tours/>

⁵ <https://www.si.edu/newsdesk/releases/smithsonian-brings-historic-specimens-life-free-skin-and-bones-mobile-app>



Ilustración 5: Mandril virtual visualizado en la aplicación *Skin and Bones*

El Museo de Arte Oriental de Turín (Spallone, 2021), en colaboración con el Politécnico de Turín, ha desarrollado una aplicación móvil que combina las tecnologías de realidad aumentada y realidad virtual para ofrecer a sus visitantes una experiencia única. El museo cuenta con dos estatuas Ni-Tennō de madera que han perdido sus armas originales. A través de la aplicación, los visitantes pueden observar las estatuas portando una reconstrucción virtual de dichas armas utilizando tecnología de realidad aumentada. Además, la aplicación ofrece una narración interactiva que ofrece información sobre las estatuas. Al terminar la narración, se muestra una reproducción inmersiva en 360°, mediante realidad virtual, del pabellón dorado de Konjiki-dō de Hiraizumi, Japón, situado alrededor de las estatuas. Este añadido de realidad virtual amplía el contexto histórico de las piezas, profundizando la comprensión de la época a los visitantes. La sección de realidad aumentada ha sido desarrollada gracias a las tecnologías de Vuforia y Unity, mientras que la parte de realidad virtual utiliza las herramientas de Google VR y Unity. En la Ilustración 6 se observan diversas capturas de pantalla del funcionamiento de la aplicación mostrando una de las estatuas en el templo y con su arma.

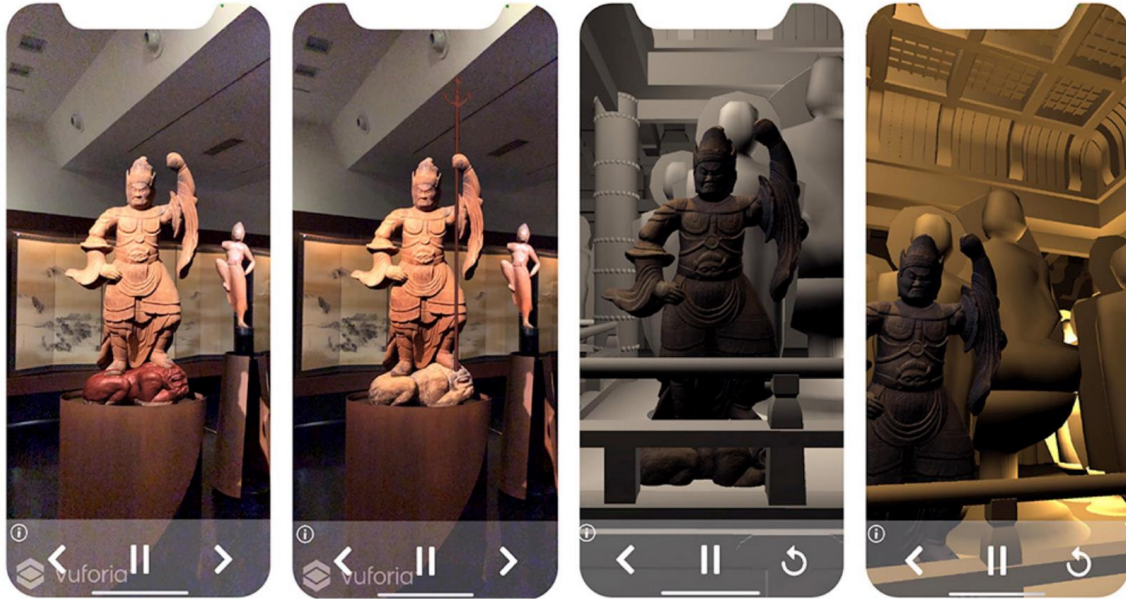


Ilustración 6: Captura de la aplicación de las dos estatuas Ni-Tennō

2.2.3. Seguimiento de imágenes

El uso del seguimiento de imágenes en la realidad aumentada es una estrategia altamente utilizada puesto que es de las formas más simples de usar esta tecnología. El visitante debe enfocar con su cámara estas imágenes para que el objeto virtual aparezca sobre ellas. Esta tecnología puede ser muy interesante ya no solo para mejorar la calidad de las exposiciones, sino para utilizarse cuando una obra tenga que dejar de estar disponible temporalmente.

ARCoins (Juan et al., 2017) es una aplicación móvil que utiliza la realidad aumentada para ayudar a los amantes de la numismática a apreciar detalles en las monedas que han sido deterioradas por el paso del tiempo. Cuando la aplicación detecta la imagen de una moneda, muestra texto superpuesto sobre la moneda. Además, aparece más información sobre esa moneda en el margen inferior de la pantalla. En la Ilustración 7 se puede apreciar el efecto de la aplicación: a la izquierda se encuentra la imagen sin modificar, y a la derecha la moneda con el texto aumentado.



Ilustración 7: Comparativa antes y después de usar ARCoins

Art of London⁶, en colaboración con distintos museos de Londres, llevó algunas de sus obras más representativas a la calle, creando una exposición de arte única mediante el uso de la realidad aumentada basada en seguimiento de imágenes. Se distribuyeron en las calles de Londres una serie de imágenes que, mediante una aplicación móvil gratuita, podían ser enfocadas para descubrir una nueva forma de experimentar arte como podemos ver en la Ilustración 8.

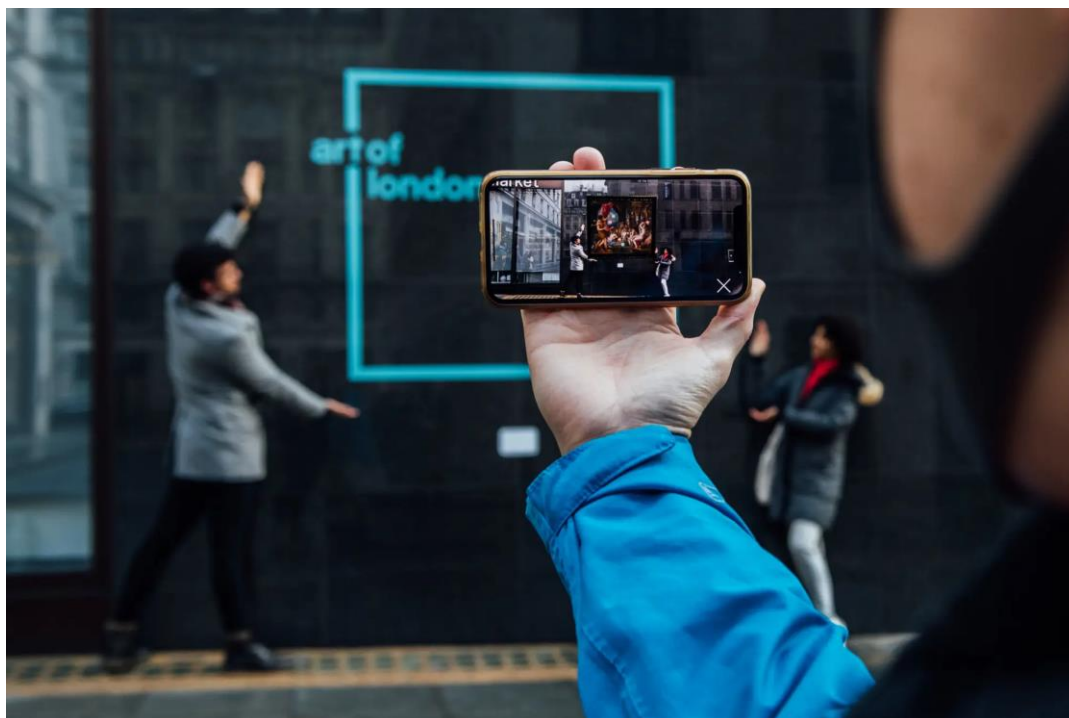


Ilustración 8: Obra de arte virtual exhibida en la calle gracias a Art of London

En el ámbito nacional, el Museo del Prado lanzó en 2015 la aplicación Photo Prado⁷. En este museo existe la prohibición de realizar fotografías, por este motivo se habilitaron tres puntos donde poder realizarlas sin perturbar el normal funcionamiento del museo. El funcionamiento de Photo Prado era muy sencillo e intuitivo. En primer lugar, el usuario elegía un cuadro a su elección. A continuación, debía buscar una de las tres imágenes instaladas en el museo, y enfocarla utilizando la aplicación, que será sustituida por el cuadro seleccionado. Finalmente, procedía a realizarse una fotografía con ese cuadro utilizando la cámara de su dispositivo móvil. Esta experiencia era única para los visitantes del museo, pero permitía obtener una fotografía de calidad con los cuadros del Museo.

2.3. Aplicaciones educativas del ábaco japonés

El aprendizaje del cálculo mediante del ábaco japonés puede generar la habilidad de realizar cálculos utilizando un ábaco mental. Diversos estudios apuntan a que esta

⁶ <https://artoflondon.co.uk/events/augmented-reality-art-gallery>

⁷ <https://www.museodelprado.es/actualidad/noticia/el-museo-del-prado-en-colaboracion-con-samsung/3a456cb0-f5a5-415f-b57a-e8b9af9cbaf3>

habilidad es capaz de provocar cambios neurológicos capaces de mejorar las capacidades cognitivas, no solo mejorando las habilidades matemáticas, sino también otras áreas como la memoria y el procesamiento de magnitudes numéricas (Wang, 2020; Belkacem et al., 2020). En este apartado se presentarán dos aplicaciones que facilitan el aprendizaje del funcionamiento de un ábaco japonés.

2.3.1. Simple Soroban

Simple Soroban⁸ es una aplicación gratuita desarrollada sin ánimo de lucro por Bruno Oliveira. Esta herramienta educativa, exclusiva para Android, destaca por estar libre de anuncios y compras integradas. Simple Soroban simula un ábaco japonés con desafíos y logros diseñados para aprender a utilizar esta herramienta milenaria. Además, cuenta con ejercicios para realizar sumas, restas, multiplicaciones, de uno y dos dígitos, y divisiones.

La aplicación ofrece cuatro modos de juego distintos que permiten un aprendizaje dinámico y divertido. El primero es el “modo libre”, el cual permite utilizar el ábaco con total libertad para realizar cálculos propios, progresando a un ritmo propio, sin presiones, y experimentando con las posibilidades que ofrece este ábaco. El siguiente es el modo “tutorial” (Ilustración 9), consiste en una guía paso a paso donde se explican los fundamentos del cálculo con ábaco y la forma correcta de realizar distintas operaciones simples mediante esta herramienta. En el “modo desafío”, el usuario es capaz de realizar una serie de ejercicios cronometrados. Cabe destacar que los desafíos son personalizables y los resultados alcanzados se pueden comparar con el tiempo promedio obtenido por otros usuarios. Por último, el “modo relájate” incluye una serie de problemas que tras su plena realización recompensan al usuario con insignias, añadiendo un elemento de coleccionismo a la aplicación.

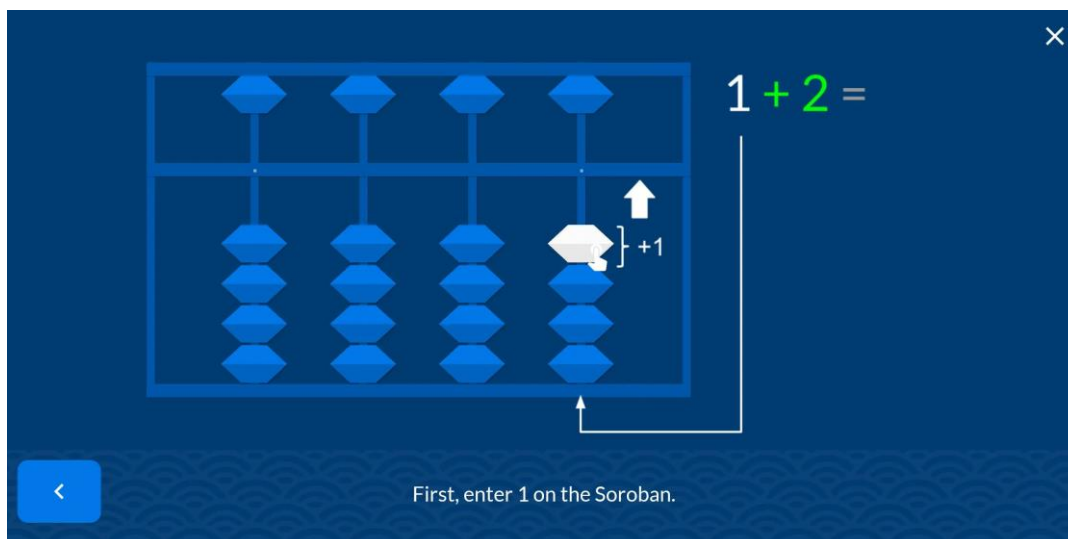


Ilustración 9: Simple Soroban tutorial

⁸ <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.net.btco.soroban&hl=es> 419

A pesar de que esta aplicación no utiliza la tecnología de realidad aumentada, resulta digna de mención puesto que la lógica en la que se basa es similar a la aplicación Abacus que forma parte de la solución planteada. Simple Soroban es una aplicación fantástica para aprender a utilizar el ábaco japonés donde se puede usar esta herramienta de forma libre o a través de ejercicios que refuerzan el aprendizaje. Además, incluye algunas funciones realmente interesantes que, aunque escapan del alcance del proyecto, podrían tenerse en cuenta para futuras versiones.

2.3.2. Abacus Lesson

Abacus Lesson⁹ es una aplicación móvil desarrollada por Hirokuma App, disponible para Android e IOS. Dispone de algunas lecciones gratuitas a pesar de ser una aplicación de pago que permiten probar la aplicación antes de adquirir la versión completa. Esta herramienta promete ayudar a mejorar la agilidad aritmética, potenciando la precisión y velocidad de los cálculos del usuario con unos métodos de entrenamiento únicos.

La aplicación permite aprender operaciones básicas como sumas, restas, multiplicaciones y divisiones, así como el posicionamiento de dedos. El objetivo de esta aplicación es la enseñanza del método correcto para utilizar el ábaco con el fin de desarrollar la habilidad de realizar cálculos mentales similares a como se haría con un ábaco físico. Para lograrlo, incorpora unas lecciones para aprender a calcular con los dedos estimulando la aritmética mental.

Lo que distingue a esta aplicación es su apartado visual como vemos en la Ilustración 10, dado que apuestan por el uso de un modelo 3D muy similar a un ábaco real, lo que le da un toque más realista. Sin embargo, a diferencia de la aplicación anterior, Abacus Lesson no permite utilizar el ábaco fuera de los ejercicios predefinidos, al menos en la versión gratuita, lo que restringe su uso como herramienta de cálculo.

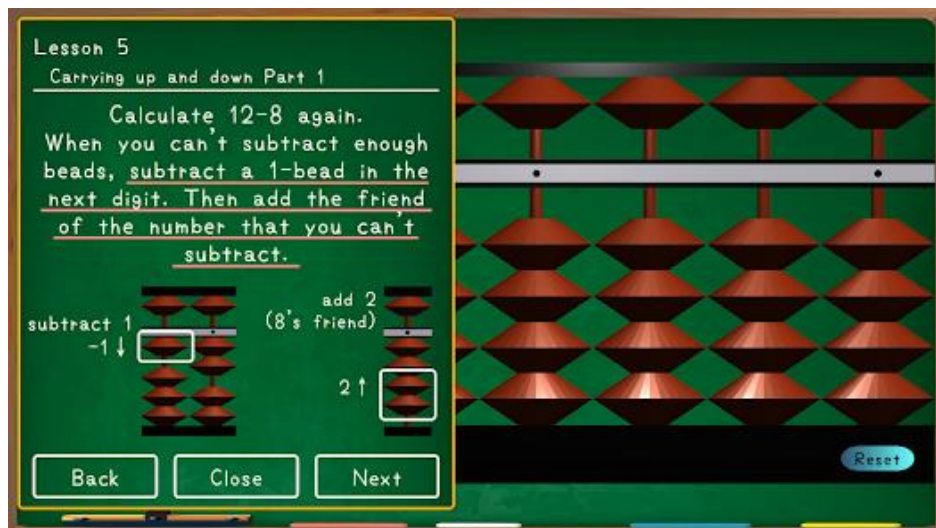


Ilustración 10: Lección en Abacus Lesson

⁹ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hirokuma.sorobanall&hl=es> 419

Al igual que la aplicación anterior, se trata de una herramienta de aprendizaje del uso del ábaco. Su punto a favor, a pesar de no incorporar realidad aumentada, es que el ábaco utilizado es una réplica virtual de un ábaco real y es bastante similar al expuesto en el museo. Además, la aplicación cuenta con una funcionalidad más limitada puesto que está centrada en que el usuario mejore su aritmética, utilizando los cálculos con el ábaco como un medio para llegar a este fin.

2.4. Visualizador de Realidad Aumentada

En esta sección se introduce una aplicación de realidad aumentada que permite la visualización básica de objetos 3D.

Augment¹⁰ es una aplicación móvil desarrollada por una compañía con este mismo nombre y está disponible para Android e IOS. Aunque la aplicación es de pago, dispone de algunos modelos 3D de prueba para que el usuario pueda familiarizarse con su funcionamiento antes de adquirirla. Esta aplicación de realidad aumentada permite visualizar modelos 3D en tiempo real, proporcionando una experiencia intuitiva y llamativa para aquellas personas que deseen incorporar elementos virtuales al mundo real. En la Ilustración 11 podemos ver como esta aplicación consigue integrar modelos 3D al mundo real, en concreto, el modelo del marco del ábaco de Abacus.

Esta solución incluye un espacio de trabajo donde se pueden subir modelos 3D propios. Una vez cargados, se pueden visualizar en el mundo real escaneando el área durante unos segundos con la cámara del dispositivo y posicionando el objeto en el lugar deseado. Los objetos se muestran a escala real y pueden ser configurados respecto al color y otros aspectos, lo que añade un mayor realismo a la simulación. Además, se pueden generar códigos QR para compartir los modelos con clientes y facilitar la interacción. El mayor inconveniente que presenta esta aplicación es que solo permite ver los objetos, pero no interactuar directamente con ellos. Asimismo, para poder utilizarse correctamente, el área donde se desee ubicar el objeto debe estar libre de obstáculos para que el escáner pueda detectar las superficies libres.



Ilustración 11: Modelo del marco del ábaco en Augment

¹⁰ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ar.augment&hl=es> 419

2.5. Propuesta

Las nuevas tecnologías avanzan a pasos agigantados, lo cual fomenta la búsqueda de nuevas aplicaciones en todos los sectores para hacerlos más competitivos y atractivos. Es por esto, por lo que es vital que antiguas instituciones como los museos se modernicen, incluyendo las nuevas tecnologías a sus exposiciones para seguir atrayendo al público y continuar con su labor divulgativa y didáctica. En concreto, el Museo de Informática de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica de la Universitat Politècnica de València está comprometido a continuar mejorando sus exposiciones a través de las nuevas tecnologías para poder continuar con su labor y compartir los avances de la tecnología en las últimas décadas.

En respuesta a esta necesidad, se propone desarrollar una solución tecnológica basada en el uso de la realidad aumentada para mejorar la experiencia de los visitantes en dos piezas del museo: el ábaco japonés y las memorias de ferrita. Además, se propone realizar una aplicación centralizada que facilite el acceso a las distintas aplicaciones actuales y futuras de las que dispone el museo.

La solución planteada está formada por tres aplicaciones distintas llamadas: Abacus, MCM y Launcher.

Abacus es una aplicación basada en la tecnología de realidad aumentada cuyo objetivo es facilitar la comprensión del funcionamiento del ábaco japonés. A través de esta aplicación, los usuarios podrán manipular una reproducción virtual del ábaco exhibido en el museo. Este ábaco se puede visualizar en el mundo real en el lugar deseado puesto que se visualizará encima de una imagen, también llamada *image target*, gracias a la tecnología de realidad aumentada basada en seguimiento de imágenes. Al apuntar sobre la imagen con la cámara de la aplicación se muestra el objeto utilizando la imagen como origen de coordenadas. A través de la aplicación, los visitantes podrán manipular el ábaco aprendiendo sobre su funcionamiento gracias a un tutorial y unos ejercicios básicos de suma, resta y multiplicación. Por último, incluye una opción que permite modificar los valores de los ejercicios para poder realizar operaciones personalizadas.

MCM (Magnetic-core Memory) está centrada en las memorias de núcleos de ferrita, también llamadas memorias de núcleos magnéticos, permitiendo ver su composición en gran detalle. Esta aplicación también utiliza la tecnología de realidad aumentada basada en seguimiento de imágenes. Enfocando la imagen a través de la aplicación se pueden mostrar imágenes y vídeos de los distintos tipos de memorias de ferrita expuestas en el museo. Los usuarios podrán hacer zoom sobre estas imágenes al acercar o alejar el dispositivo de la imagen de forma totalmente intuitiva, simulando ser un elemento más de la sala y permitiendo ver con gran detalle los distintos componentes que conforman estas memorias. Para cambiar de imagen, bastará con pulsar sobre ella y desde el menú desplegable se puede cambiar el tipo de memoria.

Por último, Launcher es una aplicación cuyo funcionamiento es similar a un lanzador de aplicaciones o juegos, puesto que permite ejecutar otras aplicaciones instaladas en el dispositivo. El usuario puede introducir manualmente las aplicaciones que se

deseen mostrar en el lanzador, pudiendo también asociar una imagen de modo que sea más visual y de un simple vistazo se pueda identificar la aplicación y su uso. Además, cuenta con una forma de eliminar las aplicaciones del lanzador sin afectar a su instalación en el dispositivo.



3. Análisis

En este apartado se definen los pasos seguidos para llevar a cabo el análisis de la solución propuesta. En primer lugar, se han definido los requisitos funcionales y no funcionales que debe cumplir. La definición de requisitos es una parte fundamental de cualquier análisis de software, puesto que nos permite definir qué funcionalidades debe ser capaz de realizar nuestra solución. En segundo lugar, se han analizado los riesgos que afectan al proyecto y pueden suponer una amenaza para este. El análisis de riesgos es una herramienta esencial en cualquier proyecto, puesto que ayuda a prevenir o disminuir el impacto de los problemas que puedan ir surgiendo.

3.1. Requisitos funcionales

El objetivo de este TFM es mejorar la experiencia de los visitantes del museo al observar dos piezas concretas: el ábaco japonés y las memorias de ferrita. Resumidamente, se plantea implementar unas aplicaciones que utilicen la realidad aumentada, permitiendo al público manipular virtualmente este modelo de ábaco como si lo tuviera en sus propias manos y observar en profundidad la composición de este tipo de memorias. Además, se propone desarrollar una aplicación donde agrupar y ejecutar todas las aplicaciones del museo en un mismo lugar.

A continuación, en las Tablas 1-16 se detallan los requisitos funcionales necesarios para llevar esta funcionalidad a cabo. Puesto que la solución está formada por tres aplicaciones diferentes, se ha añadido un prefijo a cada requisito funcional para indicar a qué aplicación pertenece. El prefijo “A1” indica que pertenece a la aplicación Abacus, el prefijo “A2” señala que se trata de la aplicación MCM y el prefijo “A3” a la aplicación Launcher.

Código	A1-RF01
Nombre	Visualizar cámara
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe ser capaz de utilizar la cámara del dispositivo y mostrarla por pantalla.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 1: Requisito funcional A1-RF1: Visualizar cámara

Código	A1-RF02
Nombre	Visualizar ábaco
Dependencias	A1-RF01
Descripción	La aplicación debe ser capaz de hacer un seguimiento de la imagen y mostrar en realidad aumentada el ábaco, encima de dicha imagen.
Prioridad	Alta
Restricciones	Solo se debe mostrar si se está apuntando a la imagen.

Tabla 2: Requisito funcional A1-RF02: Visualizar ábaco

Código	A1-RF03
Nombre	Interactuar con el ábaco
Dependencias	A1-RF02
Descripción	El ábaco debe de permitir mover sus piezas y mostrar por pantalla el número actual representado.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 3: Requisito funcional A1-RF03: Interactuar con el ábaco

Código	A1-RF04
Nombre	Reiniciar ábaco
Dependencias	A1-RF02
Descripción	La aplicación debe permitir reestablecer el ábaco a la posición inicial, donde todas las piezas estarán desactivadas y el valor mostrado por pantalla será cero.
Prioridad	Media
Restricciones	

Tabla 4: Requisito funcional A1-RF04: Reiniciar ábaco

Código	A1-RF05
Nombre	Visualizar tutorial
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe permitir al usuario visualizar el tutorial completo.
Prioridad	Media
Restricciones	

Tabla 5: Requisito funcional A1-RF05: Visualizar tutorial

Código	A1-RF06
Nombre	Ejercicio suma
Dependencias	A1-RF03
Descripción	La aplicación debe permitir realizar ejercicios de suma de dos números utilizando el ábaco donde se valide el resultado.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 6: Requisito funcional A1-RF06: Ejercicio suma

Código	A1-RF07
Nombre	Ejercicio resta
Dependencias	A1-RF03
Descripción	La aplicación debe permitir realizar ejercicios de resta de dos números utilizando el ábaco donde se valide el resultado.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 7: Requisito funcional A1-RF07: Ejercicio Resta

Código	A1-RF08
Nombre	Ejercicio multiplicación
Dependencias	A1-RF03
Descripción	La aplicación debe permitir realizar ejercicios de multiplicación de dos números utilizando el ábaco donde se valide el resultado.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 8: Requisito funcional A1-RF08: Ejercicio multiplicación

Código	A1-RF09
Nombre	Configuración de operandos
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe permitir modificar los operandos de los ejercicios disponibles.
Prioridad	Media
Restricciones	

Tabla 9: Requisito funcional A1-RF09: Configuración de operandos

Código	A2-RF01
Nombre	Visualizar cámara
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe ser capaz de utilizar la cámara del dispositivo y mostrarla por pantalla.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 10: Requisito funcional A2-RF01: Visualizar cámara

Código	A2-RF02
Nombre	Visualizar imágenes
Dependencias	A2-RF01
Descripción	La aplicación debe ser capaz de hacer un seguimiento de la imagen y mostrar en realidad aumentada imágenes de las memorias agrupadas por tipos.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 11: Requisito funcional A2-RF02: Visualizar imágenes

Código	A2-RF03
Nombre	Visualizar vídeos
Dependencias	A2-RF01
Descripción	La aplicación debe ser capaz de hacer un seguimiento de la imagen y mostrar en realidad aumentada vídeos de las memorias.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 12: Requisito funcional A2-RF03: Visualizar vídeos

Código	A2-RF04
Nombre	Visualizar información
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe ser capaz de mostrar un pequeño texto acerca de las memorias de ferrita.
Prioridad	Media
Restricciones	

Tabla 13: Requisito funcional A2-RF04: Visualizar información

Código	A3-RF01
Nombre	Añadir aplicación
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe permitir añadir aplicaciones al listado.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 14: Requisito funcional A3-RF01: Añadir aplicación

Código	A3-RF02
Nombre	Eliminar aplicación
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe permitir eliminar aplicaciones del listado.
Prioridad	Alta
Restricciones	No se debe desinstalar la aplicación eliminada del dispositivo, solo eliminarla de la aplicación.

Tabla 15: Requisito funcional A3-RF02: Eliminar aplicación

Código	A3-RF03
Nombre	Ejecutar aplicación
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe permitir ejecutar aplicaciones instaladas en el dispositivo del listado.
Prioridad	Alta
Restricciones	

Tabla 16: Requisito funcional A3-RF03: Ejecutar aplicación

3.2. Requisitos no funcionales

Los requisitos no funcionales son aquellos no relacionados directamente con la funcionalidad de la aplicación, sino que se centran en un mayor espectro de aspectos como podrían ser: el rendimiento, la usabilidad y la escalabilidad, entre otros. A continuación, se detallan los requisitos no funcionales más importantes:

- Se necesita como mínimo una versión de Android 8.0 "Oreo" (nivel de API 26).

- La aplicación debe ajustarse a una gran variedad de tamaños de pantalla y resoluciones diferentes.
- Las aplicaciones deben mostrarse en orientación horizontal.
- La aplicación se debe instalar fácilmente en los distintos dispositivos.
- El dispositivo necesita disponer de una cámara integrada funcional,
- El *image target* debe ser claramente visible y estar en una zona iluminada.
- Los sistemas deben reconocer sus propias imágenes y no confundirlas.
- La aplicación debe proporcionar un tiempo de respuesta inmediato en la detección de la imagen.
- Las interfaces deben ser amigables, intuitivas y atractivas para que personas de todas las edades las puedan utilizar.
- El dispositivo debe tener al menos 150MB libres para instalar Abacus y Launcher y 200MB libres para MCM.
- La aplicación Abacus debe ser precisa y no presentar retrasos al desplazar las cuentas de más de 1 segundo.
- La aplicación MCM no debe tardar más de 3 segundos en cambiar de imagen o vídeo.
- La visualización de las imágenes en la aplicación MCM debe ser de alta calidad para asegurar que se pueden observar claramente todos los detalles de las memorias.
- La aplicación Launcher debe ser persistente, debe almacenar las aplicaciones introducidas incluso cuando se cierra.

3.3. Análisis de riesgos

El análisis de riesgos es una parte esencial de un buen análisis del proyecto puesto que nos ayuda a identificar con antelación algunos problemas que pueden surgir en el proyecto para poder prevenir o disminuir su impacto. La prevención de riesgos no es una herramienta infalible. Puede darse el caso que los riesgos nunca lleguen a desarrollar un problema o que aparezcan problemas imprevistos, pero este análisis ayuda a reducir la incertidumbre al prevenir o controlar el impacto de los riesgos más importantes asociados al proyecto.

A continuación, en las Tablas 17-22 se detallan algunos de los riesgos más importantes del proyecto, detallando el impacto que pueden ocasionar y las medidas a tomar si llegara a ocurrir.

Código	R01
Título	Falta de conocimientos en las tecnologías utilizadas
Tipo	Organizacional
Descripción	El equipo cuenta con poca experiencia en las tecnologías utilizadas por lo que es incapaz de cumplir los objetivos establecidos
Impacto	Puede provocar retrasos o disminuir la calidad del producto
Medidas	Realizar cursos de formación para que el equipo pueda aprender

Tabla 17: R01 Falta de conocimientos en las tecnologías utilizadas



Código	R02
Título	Incompatibilidad con el dispositivo
Tipo	Técnico
Descripción	El dispositivo es incapaz de instalar o ejecutar la aplicación de realidad aumentada
Impacto	Incapacidad o limitaciones para utilizar la aplicación
Medidas	Realizar pruebas para especificar correctamente en qué dispositivos es compatible la solución

Tabla 18: R02 Incompatibilidad con el dispositivo

Código	R03
Título	Bajo rendimiento
Tipo	Técnico
Descripción	El consumo de recursos de la aplicación es demasiado alto para algunos dispositivos
Impacto	Experiencia frustrante para los usuarios debido al incremento de los tiempos de respuesta de la aplicación
Medidas	Realizar una nueva versión del producto para dispositivos con pocas prestaciones

Tabla 19: R03 Bajo rendimiento

Código	R04
Título	Planificación inadecuada
Tipo	Gestión del proyecto
Descripción	Retrasos en los plazos definidos para finalizar las tareas del proyecto
Impacto	Sobrecarga de trabajo para los empleados, incremento de errores y reducción de la calidad
Medidas	Incrementar los tiempos por tarea e ir comparando frecuentemente el avance real del proyecto con el estimado para poder solucionar problemas que puedan ir surgiendo

Tabla 20: R04 Planificación inadecuada

Código	R05
Título	Elección inadecuada de usuarios para la validación
Tipo	Externo
Descripción	Los usuarios realizan las encuestas sin probar la aplicación o introduciendo datos no válidos
Impacto	Los resultados obtenidos del estudio son poco fiables por lo que se toman malas decisiones respecto a la solución
Medidas	Tomar una muestra más grande de usuarios para reducir errores

Tabla 21: R05 Elección inadecuada de usuarios para la validación

Código	R06
Título	Baja temporal de un empleado
Tipo	Organizacional
Descripción	El empleado no puede realizar su trabajo durante un pequeño espacio de tiempo, por lo que sobrecargar al resto del equipo para intentar suplir su baja
Impacto	Puede provocar retrasos o disminuir la calidad del producto
Medidas	Contratar personal de forma temporal, ajustar las fechas de la planificación o eliminar algún requisito poco importante

Tabla 22: R06 Baja temporal de un empleado



4. Solución propuesta

4.1. Diseño de la solución

Una vez se han definido los detalles acerca de la funcionalidad que debe cumplir la solución planteada, es importante realizar un buen diseño de la interfaz. Este diseño será una guía visual para el posterior desarrollo del producto y ayudará a identificar con antelación posibles fallos de diseño o usabilidad.

Un mockup es una representación visual del prototipo de la solución que se va a desarrollar. Generalmente, se suelen hacer en forma de boceto o con programas específicos de forma que permita transmitir de forma clara una idea general del diseño propuesto.

4.1.1. Abacus

La aplicación utiliza la cámara del dispositivo para enfocar el entorno y ubicar el ábaco sobre esta imagen. Esto se verá representado por un fondo en blanco en los mockups. Se podrá interactuar con el ábaco pulsando directamente sobre una de sus cuentas para activarla o desactivarla.

En primer lugar, en la Ilustración 12 se muestra la pantalla inicial de la aplicación Abacus, el modo libre. En este caso, se muestra también el menú desplegable a la izquierda, que cuenta con una serie de botones que permiten seleccionar el modo elegido. El botón “Ejercicios” actuará como un desplegable mostrando u ocultado los botones “Suma”, “Resta” y “Multiplicación”, cada uno de los cuales abrirá la interfaz de su respectivo ejercicio. En la parte superior central se puede observar un número “0”, este número indica el valor actual mostrado en el ábaco y se actualizará si este se modifica. Si se pulsa en algún lugar de la pantalla que no sea el menú lateral, este se ocultará para permitir una mejor interacción con el ábaco. En la esquina superior derecha se puede observar el botón “X” que permite cerrar la aplicación y el botón con la flecha permite reiniciar el ábaco al valor 0.

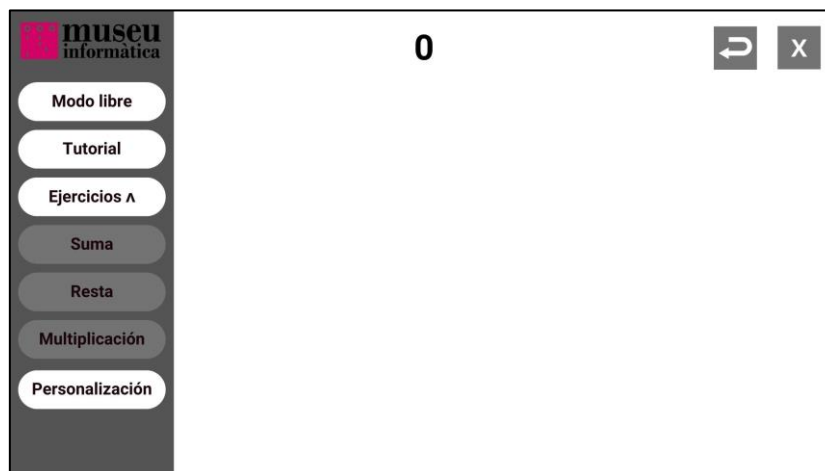


Ilustración 12: Mockup del modo libre de Abacus

A continuación, se puede apreciar la Ilustración 13 donde se muestra el tutorial. En el recuadro central se mostrarán las distintas imágenes explicativas que conformarán el tutorial, estas imágenes podrán cambiarse con las flechas o triángulos situados a cada lado. La flecha derecha permitirá cambiar a la imagen siguiente, mientras que la flecha izquierda cambiará a la imagen anterior. En la esquina superior derecha se puede apreciar un botón para abrir el menú lateral.



Ilustración 13: Mockup del tutorial de Abacus

En la Ilustración 14 se muestra el mockup de la interfaz que se muestra al realizar un ejercicio, en este caso un ejercicio de suma, pero la apariencia es la misma en todas las operaciones. Podemos ver que el menú lateral se encuentra oculto, por lo que aparece el icono en la esquina superior derecha para abrirlo junto al botón para reiniciar el ábaco. Al igual que en el modo libre, tenemos en la parte superior el contador que muestra el estado actual del ábaco, pero justo debajo de este se muestra la operación a realizar con el número que se debe introducir a continuación resaltado.

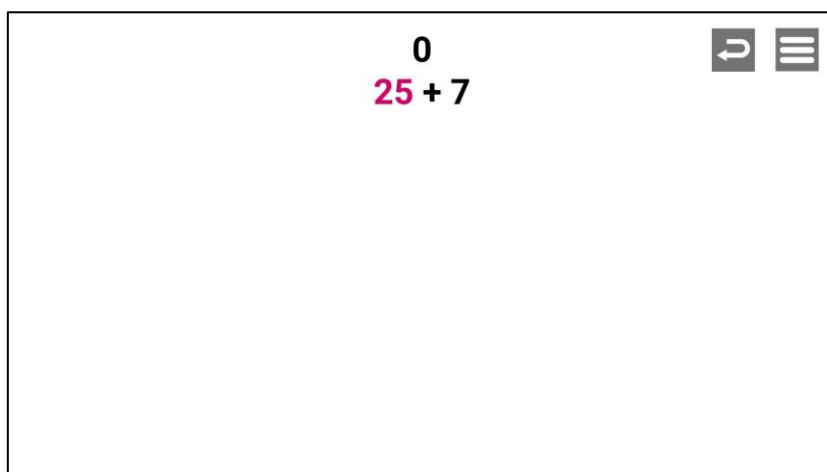


Ilustración 14: Mockup de un ejercicio de suma de Abacus

El último mockup de Abacus se trata de la ventana de personalización de los operandos de las operaciones (Ilustración 15). Esta interfaz cuenta con seis campos para introducir texto donde se deben introducir los números que se desean operar. Finalmente, se guardan los valores al pulsar sobre el botón “Guardar”.



Ilustración 15: Mockup de personalización de Abacus

4.1.2. MCM

Al igual que en la aplicación Abacus, los fondos en blanco en los mockups representan la visualización de la cámara del dispositivo. El funcionamiento del menú lateral es idéntico al de Abacus: se abre pulsando el icono de la esquina superior izquierda y se cierra pulsando en cualquier lugar fuera del menú. Para cerrar la aplicación, se debe pulsar el botón “X”.

En la Ilustración 16 podemos observar la pantalla inicial de la aplicación, la cual muestra las imágenes del primer modelo de las memorias de núcleos de ferrita. En este caso, el menú lateral de la aplicación se encuentra desplegado. El botón “Descripción” abre la ventana de información acerca de las memorias de ferrita. Los botones “Modelo 1” y “Modelo 2” serán desplegables y se podrá seleccionar si se desea visualizar imágenes o un vídeo del modelo escogido. El botón “Modelo 3” muestra imágenes de ese tipo de memoria.



Ilustración 16: Mockup de MCM con el menú desplegado

En el mockup de la Ilustración 17, podemos observar cualquier opción de visualización de imágenes o vídeo con el menú oculto. En la esquina superior derecha se puede

observar el botón para mostrar el menú. Si se desea cambiar de imagen o pausar el vídeo se puede pulsar sobre ella para hacerlo.

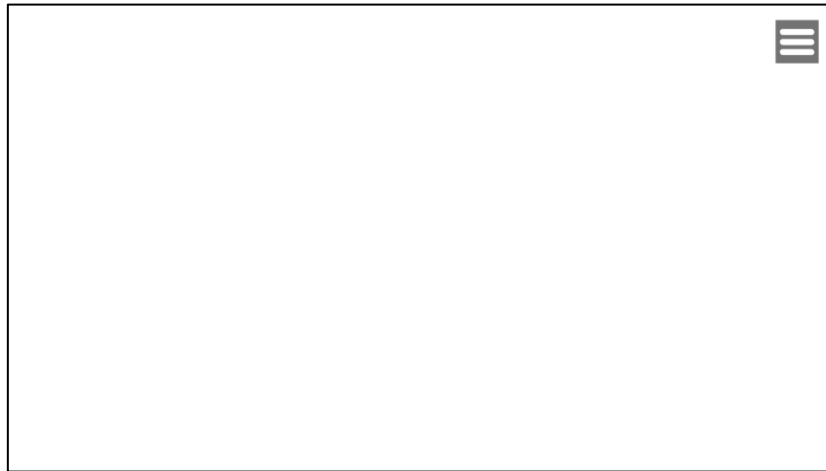


Ilustración 17: Mockup de MCM con el menú oculto

El mockup final de la aplicación MCM, que corresponde a la interfaz “descripción”, aunque finalmente se terminó llamando “Introducción”, lo podemos ver representado en la Ilustración 18. Este mockup simplemente muestra una pequeña descripción de las memorias de núcleos de ferrita. En la esquina superior derecha se puede apreciar el botón del menú que permite cambiar a otra funcionalidad.



Ilustración 18: Mockup introducción de MCM

4.1.3. Launcher

Al principio del TFM, se plantearon dos mockups diferentes para la aplicación Launcher uno de los cuales presentaba un mayor grado de dificultad en su desarrollo. Se tomó la decisión de utilizar uno u otro en función al cumplimiento de los plazos estipulados en la planificación. Dado que sí se estaban cumpliendo los plazos, se optó por el segundo diseño, cuyo nivel de dificultad era un poco superior.

El modelo inicial de Launcher se puede apreciar en la Ilustración 19. En la parte superior se muestra una gran imagen de la aplicación seleccionada y en la parte

superior el nombre. A ambos lados se pueden ver unas flechas en forma de triángulo que permiten cambiar la aplicación seleccionada. Justo debajo de esta imagen, hay una serie de puntos que indican las aplicaciones introducidas en Launcher y señalan cuál está seleccionada. En la parte inferior derecha se aprecian botones que permiten añadir una nueva aplicación a la lista, eliminar o iniciar la aplicación seleccionada.



Ilustración 19: Mockup inicial de Launcher

En la Ilustración 20 se muestra el mockup final de la interfaz principal de la aplicación. Los botones realizan la misma funcionalidad, pero se encuentran en el lateral izquierdo. Sin embargo, ya no podemos apreciar los puntos debajo de la gran imagen que muestra cada aplicación, sino que se han sustituido por unas miniaturas de las diferentes aplicaciones disponibles. La aplicación seleccionada se muestra resaltada con un borde rosa en su miniatura y la barra de miniaturas se puede desplazar lateralmente al ser arrastrada cuando hay al menos 5 aplicaciones.

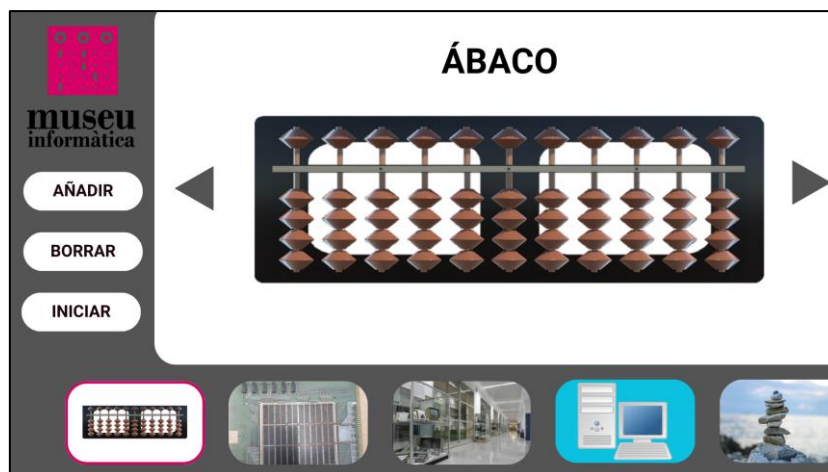


Ilustración 20: Mockup definitivo de Launcher

Finalmente, la Ilustración 21 muestra el mockup de la interfaz que permite añadir aplicaciones en Launcher. Esta ventana cuenta con dos campos en los que introducir texto, un botón llamado "Insertar imagen", el cual abre la galería de imágenes del dispositivo para seleccionar la imagen deseada, un recuadro donde se muestra una

vista previa de la imagen seleccionada y un botón para guardar la nueva aplicación. El botón de la esquina superior derecha permite mostrar el menú principal.



Ilustración 21: Mockup añadir aplicación de Launcher

4.2. Tecnología utilizada

En este apartado se describirán las principales tecnologías utilizadas en el desarrollo de la solución.

4.2.1. Blender

Blender¹¹ es una herramienta de modelado, texturizado y animación 3D de código libre disponible para Windows, Linux y Mac. Es una de las herramientas gratuitas más importantes en el mundo del desarrollo de videojuegos, el cine y el modelado en general.

Su principal ventaja es que permite realizar todos los pasos de la creación y animación de un modelo 3D desde una misma aplicación. Entre sus funciones permite: modelar, esculpir, aplicar texturas y sombreado, aplicar efectos, animar, renderizar, entre otros. Además, permite utilizar scripts en lenguaje Python para elaborar herramientas más específicas. Todo ello la convierte en una herramienta muy completa que, además, consigue reducir el riesgo de incompatibilidades al poder realizar todo el proceso desde un mismo programa.

Otro de sus puntos fuertes es que al tratarse de una herramienta gratuita y de código abierto, tiene una comunidad muy activa donde se comparten conocimientos y se brinda apoyo a todo aquel que lo necesite.

Blender ha sido una herramienta clave a la hora de elaborar la reproducción virtual del ábaco japonés que se encuentra exhibido en el museo.

¹¹ <https://www.blender.org/about/>

4.2.2. Unity

Unity¹² es un motor de videojuegos 2D y 3D en tiempo real disponible para Windows, Linux y Mac. Esta potente herramienta permite crear videojuegos y experiencias inmersivas e interactivas en más de 20 plataformas, entre las que se incluyen dispositivos móviles, videoconsolas y visores de realidad virtual y mixta. Con Unity se pueden crear desde experiencias de realidad virtual y aumentada hasta aplicaciones multijugador, juegos en solitario y simulaciones realistas, gracias a sus avanzadas herramientas de gráficos y físicas. Además, su capacidad para realizar todo tipo de modificaciones utilizando código C#, la convierte en una herramienta tremendamente versátil.

Unity está muy comprometido con su comunidad. La plataforma ofrece una gran cantidad de material didáctico, documentación y tutoriales de modo que cualquier programador pueda iniciarse a utilizar sus productos. Su principal característica diferenciadora es que es uno de los motores de videojuegos más amigables y fáciles de usar del mercado. Si a esto le sumamos la gran cantidad de documentación disponible, lo convierte en una herramienta clave a la hora de introducirse en el mundo del desarrollo de videojuegos para los desarrolladores principiantes.

Además del motor de videojuegos, cuenta con distintas aplicaciones interconectadas para mejorar aún más la experiencia del desarrollador. Entre ellas se encuentra la plataforma Asset Store¹³, donde los usuarios pueden compartir y comprar modelos, texturas o recursos elaborados por la propia plataforma u otros desarrolladores, agilizando enormemente el desarrollo de proyectos. También es interesante mencionar la aplicación Unity Hub¹⁴, la cual permite gestionar las versiones y licencias de Unity, así como los distintos proyectos creados por el usuario, facilitando su organización y el acceso a estos.

4.2.3. Vuforia

Vuforia Engine ¹⁵ es una plataforma de desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada, compatible con la mayoría de teléfonos y tabletas. Su funcionamiento se basa en el uso de *targets*, los cuales pueden ser imágenes, objetos o incluso áreas, como habitaciones. Los usuarios pueden introducir imágenes o modelos para generar estos *targets*, o bien escanear su entorno para crear un *target* de área. Al utilizar este sistema basado en *targets* para realizar el seguimiento y posicionamiento en el mundo real, consigue un sistema robusto y con un alto rendimiento. Además, una de sus principales ventajas es su integración con Unity a través de la Asset Store, lo que simplifica enormemente su incorporación en este tipo de proyectos.

¹² <https://unity.com/es>

¹³ <https://assetstore.unity.com/>

¹⁴ <https://unity.com/es/unity-hub>

¹⁵ <https://developer.vuforia.com/library/>

4.2.4. Visual Studio

Microsoft Visual Studio ¹⁶ es un entorno de desarrollo integrado (IDE) concebido por Microsoft, disponible tanto para Windows como para Linux y Mac. Visual Studio va más allá de lo ofertado por otros IDE del mercado, incluyendo no solo un editor y un depurador, sino ofreciendo otras herramientas como compiladores, herramientas de completado de código y diseñadores gráficos. Estas herramientas tienen la finalidad de mejorar la calidad del proceso de desarrollo de software, haciéndolo más eficiente y sencillo. Además, esta herramienta proporciona soporte para una gran variedad de lenguajes y tecnologías, independientemente de si son integrados o extensiones, entre los que se incluyen C#, C++, Javascript, Python, entre otros.

4.2.5. Canva

Canva¹⁷ es una plataforma de diseño gráfico en línea disponible tanto en formato web como en dispositivos Android e iOS. La apuesta de Canva consiste en que su producto sea lo más simple y accesible posible, de modo que cualquier usuario, incluso sin conocimientos de diseño, pueda crear contenido profesional y atractivo en cuestión de minutos. Para lograrlo, cuenta con una interfaz muy intuitiva basada en arrastrar y soltar elementos, consiguiendo que su uso sea realmente simple. Además, su funcionamiento se basa en el uso de plantillas prediseñadas, por lo que el usuario solo tiene que personalizarlas a su gusto para conseguir el resultado deseado.

4.3. Desarrollo de la propuesta

En este apartado se detallará el proceso de desarrollo de la solución, así como los problemas más importantes encontrados a lo largo del mismo.

4.3.1. Abacus

En primer lugar, se comenzó modelando el ábaco japonés utilizando la herramienta Blender. Este modelo se dividió en dos partes: por un lado, el marco (Ilustración 22), y por otro, un disco (Ilustración 23). Al separar estos elementos, fue más sencillo desplazar las piezas del ábaco en Unity, ya que se trataba de modelos diferentes. Los modelos se exportaron en formato fbx puesto que es compatible con Unity.

¹⁶ <https://visualstudio.microsoft.com/es/vs/features/web/languages/>

¹⁷ https://www.canva.com/es_es/about/





Ilustración 22: Modelo del marco del ábaco japonés en Blender



Ilustración 23: Modelo de un disco en Blender

Durante esta fase surgió un pequeño contratiempo durante la exportación de una primera versión del marco a Unity. Se descubrió que algunos de los lados de la figura no eran visibles desde fuera de esta, pero sí desde el interior como se puede ver en la Ilustración 24. Para resolverlo, se activó una característica de Blender que indica la orientación de las caras y, efectivamente, había algunas invertidas, por lo que se solucionó rápidamente invirtiendo dichas caras.

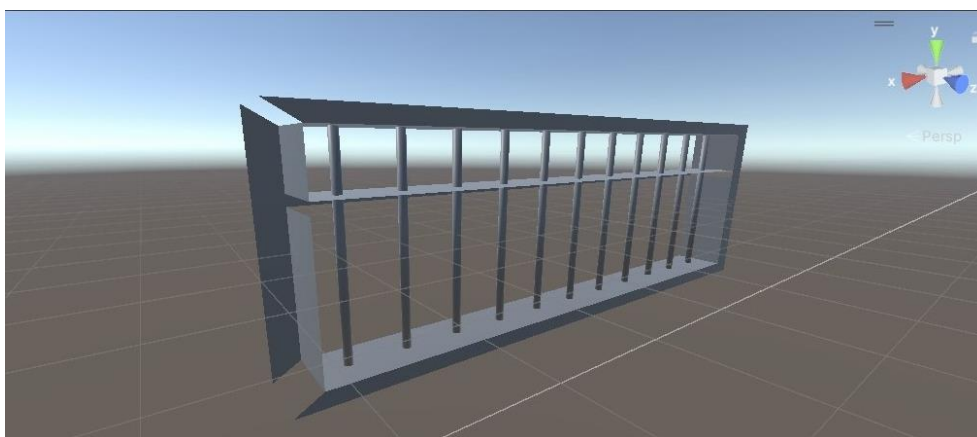


Ilustración 24: Problema por caras invertidas en Unity

Antes de comenzar a desarrollar la aplicación, se utilizó Canva para diseñar el *image target* que se utilizará en esta. Una vez terminado el diseño, se obtuvo una licencia del producto desde la web de Vuforia y se introdujo el *image target* creado para evaluar su nivel de calidad para, posteriormente importarlo a Unity. En la Ilustración 25 se muestra la imagen escogida.



Ilustración 25: Image target de Abacus

A continuación, se comenzó con el desarrollo de la aplicación con Unity y Vuforia. El primer paso fue importar los modelos, asegurándose de que no presentaran ningún defecto. Una vez se comprobó que los modelos eran correctos, se rellenó el marco con los 55 discos organizados en 11 filas diferentes, de modo que fuera más sencillo su gestión por filas. La primera funcionalidad que se desarrolló fue el movimiento de las piezas del ábaco y la correcta actualización del valor del contador en la pantalla, lo que corresponde al “modo Libre”. En la Ilustración 26 podemos observar este modo con el menú lateral habilitado, certificando que se siguió el diseño establecido en el mockup.



Ilustración 26: Modo libre de Abacus

En la Ilustración 27, se puede apreciar uno de los ejercicios disponibles, un ejercicio de suma. Los ejercicios debían ser paso a paso, de modo que el usuario debe introducir el primer operando, validarlo, y finalmente introducir el resultado final. Se ha

considerado que este enfoque era el más adecuado puesto que ofrece una mayor simplicidad y evita que el proceso se vuelva tedioso si se realizaba un mayor número de comprobaciones. Todos los ejercicios funcionan de la misma manera, pero al realizar la multiplicación el primer operando debe colocarse siguiendo sus reglas. Estas reglas indican que debe dejarse una separación de varillas a la derecha del número de dígitos en el segundo operando más uno. De este modo, en la multiplicación 12×7 , el número 12 se comenzaría a representar en la tercera varilla, puesto que un dígito más uno son dos varillas sin utilizar.



Ilustración 27: Modo suma de Abacus

La Ilustración 28 muestra el tutorial de uso de un ábaco japonés. Las imágenes se almacenan en una lista que se va recorriendo al pulsar las flechas de los costados para avanzar o retroceder en la lista.

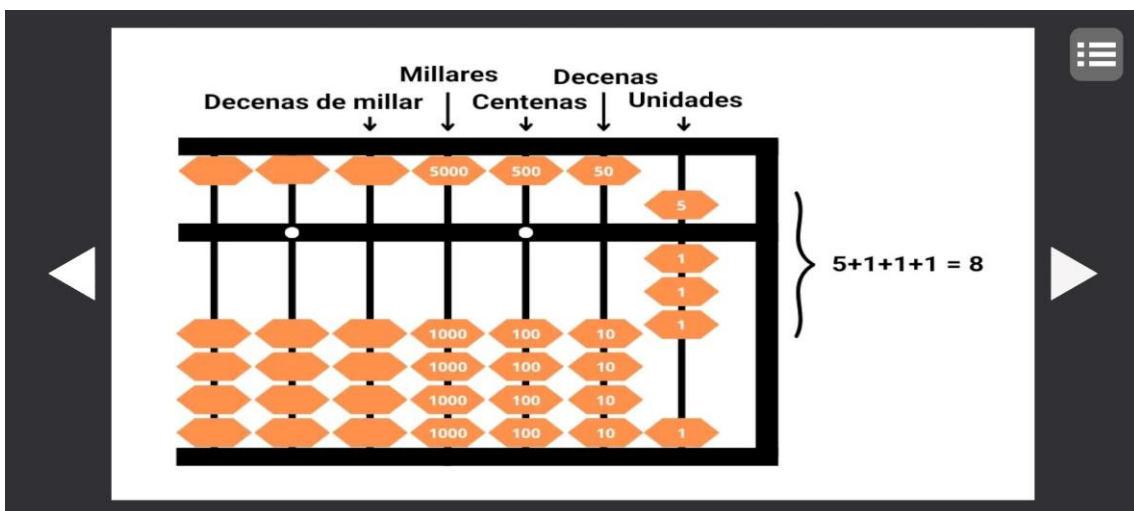


Ilustración 28: Tutorial sobre el uso del ábaco de Abacus

Finalmente, observamos en la Ilustración 29 la interfaz final de la personalización de los operandos de la aplicación. Estos campos solo permiten introducir caracteres numéricos, reduciendo así las posibilidades de error.

PERSONALIZA TUS OPERACIONES MATEMÁTICAS

A continuación, puedes ingresar valores para crear tus propias sumas, restas y multiplicaciones personalizadas

Primer operando suma	Segundo operando suma
<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="6"/>
Primer operando resta	Segundo operando resta
<input type="text" value="583"/>	<input type="text" value="145"/>
Primer operando multiplicación	Segundo operando multiplicación
<input type="text" value="11"/>	<input type="text" value="6"/>

Confirmar

Ilustración 29: Personalización de operandos de Abacus

4.3.2. MCM

Al igual que en la aplicación Abacus, uno de los primeros pasos es conseguir una licencia de Vuforia y preparar un image target específico. En la Ilustración 30 se muestra la imagen escogida para esta aplicación.

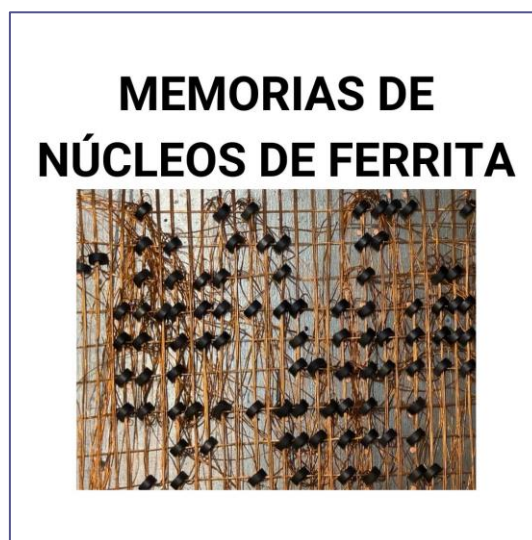


Ilustración 30: Image target de MCM

Esta aplicación, desarrollada con Unity y Vuforia, comienza mostrando la cámara del dispositivo para enfocar el entorno en busca de alguna imagen reconocible. En la Ilustración 31 se puede apreciar que, si no encuentra ninguna imagen, no añade ningún elemento virtual. Además, se puede ver el mensaje inicial de la aplicación, el cual indica el modo de uso de la misma. En cambio, al reconocer la imagen, sitúa el elemento escogido sobre este. Al iniciar la aplicación, siempre comienza mostrando imágenes del primer tipo de memoria disponible. En la Ilustración 32 se puede observar cómo se muestran las imágenes al reconocer la imagen, además, también se

muestra cómo se ha seguido el diseño estipulado en el mockup al realizar el menú lateral. Si comparamos esta versión final con el diseño del mockup, se puede ver que el desplegable “Modelo 1” se encuentra desplegado, mientras que el desplegable “Modelo 2” se encuentra plegado y que ambos botones no cambian de apariencia al ser pulsados.



Ilustración 31: Interfaz inicial sin imagen de MCM

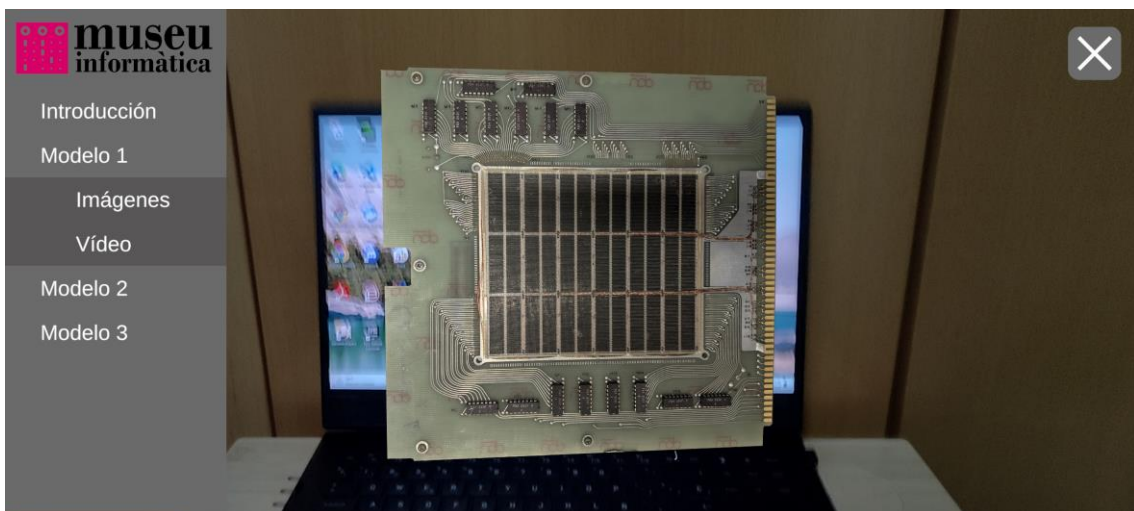


Ilustración 32: Reconocimiento de la imagen de MCM

Gracias al seguimiento de Vuforia y su precisión para ubicar objetos virtuales mediante realidad aumentada, podemos visualizar un objeto o imagen en detalle simplemente acercándonos más a dicha pieza, como si estuviera físicamente frente a nosotros. Podemos ver un ejemplo de esta función en la Ilustración 33.

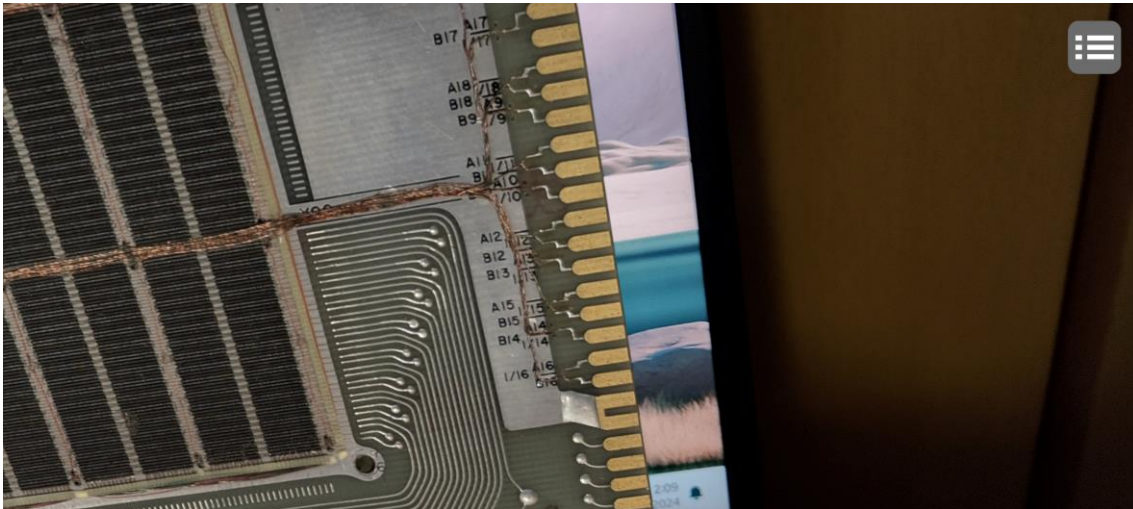


Ilustración 33: Zoom de una imagen de MCM

Finalmente, en la Ilustración 34 podemos ver el aspecto de la interfaz de introducción, la cual ofrece una pequeña descripción sobre las memorias y su funcionamiento.

DESCRIPCIÓN DE LAS MEMORIAS DE NÚCLEOS DE FERRITA

Se trata de una memoria construida a partir de anillos de ferrita. Fueron ampliamente usadas entre 1953 y 1970.

Para actuar sobre la magnetización del anillo, basta con aplicar una corriente eléctrica a el hilo conductor que la atraviesa, quedando el anillo magnetizado en función del sentido de la corriente que se aplicó. Es el sentido de dicha magnetización el que determina el valor que se almacena en el anillo, pudiendo variar éste entre el 0 o el 1.

Para visualizar el valor almacenado en cada uno de los anillos será necesario el uso de un segundo hilo que atraviese dicho anillo.

Ilustración 34: Descripción de las memorias de núcleos de ferrita en MCM

4.3.3. Launcher

Launcher ha sido desarrollada con Unity, sin requerir el uso de las funciones proporcionadas por Vuforia. El principal reto fue conseguir que la aplicación consiguiese ejecutar otras aplicaciones del sistema con éxito.

En Android, las aplicaciones tienen un identificador único conocido como “nombre de paquete”. Un *Intent* es un mecanismo que permite que una aplicación pueda realizar actividades del sistema o de otras aplicaciones. Como Launcher debe ser capaz de ejecutar otras aplicaciones, se implementó un *Intent* de ejecución de paquetes, indicándole el nombre de paquete de la aplicación que se deseaba ejecutar. Sin

embargo, después de múltiples intentos, la aplicación continuaba siendo incapaz de ejecutar otras aplicaciones y siempre generaba errores.

Tras una ardua investigación, se descubrió que el problema era ocasionado por una falta de permisos necesarios para poder acceder a los nombres de paquetes de las aplicaciones instaladas. Para solventarlo, se concedieron estos permisos desde el fichero "AndroidManifest". De esta manera, la aplicación es capaz de comparar el nombre del paquete deseado con las aplicaciones instaladas en el dispositivo y ejecutar la aplicación que genere una coincidencia.

Durante el desarrollo de la aplicación, otra de las dificultades que se tuvo que superar fue la importación de imágenes desde la galería del dispositivo. Una de las opciones que se barajó fue la de crear un plugin en lenguaje Java que ejecute las instrucciones nativas de Android, para luego ejecutar este plugin a través de un *Intent* en Unity. Tras varios intentos, se concluyó que incrementaba la complejidad de la solución en gran medida, por lo que se descartó esta posibilidad. La solución finalmente adoptada fue utilizar un plugin gratuito de Unity disponible en la Asset Store, llamado "Native Gallery for Android". Entre sus distintas funcionalidades, este plugin permite obtener imágenes del almacenamiento interno del teléfono mediante la galería de imágenes del sistema de una forma sencilla y eficiente.

Tras salvar todos los obstáculos, se consiguió terminar el desarrollo de la aplicación completamente. En la Ilustración 35 podemos observar la interfaz principal de Launcher, la cual es bastante similar al concepto mostrado en el mockup.



Ilustración 35: Interfaz principal de Launcher

Finalmente, en la Ilustración 36 observamos la interfaz que permite añadir una nueva aplicación al listado de Launcher. Si algún campo está sin rellenar, no permite añadir el elemento. En caso de no se haber seleccionado ninguna imagen, el recuadro de la previsualización no es visible, pero al insertar una se muestra cómo se verá. Al agregar una aplicación de forma satisfactoria, el formulario se vacía automáticamente.



Ilustración 36: Interfaz Añadir aplicación de Launcher

5. Validación

La validación de la solución es un paso crucial en cualquier proyecto de desarrollo. La validación debe realizarse tras finalizar el análisis, diseño e implementación de la solución. Este proceso consiste en realizar un estudio con un grupo de voluntarios que probarán la solución y responderán a una serie de preguntas que, más tarde, se analizará su respuesta para obtener estadísticas sobre la usabilidad, eficiencia, creatividad, entre otros. En este estudio ha participado un grupo de 13 personas, 8 mujeres y 5 hombres, de edades comprendidas entre los 14 y los 46 años.

Las preguntas del cuestionario están divididas en 5 secciones que las agrupan según su naturaleza:

- Preguntas personales: Se preguntan aspectos básicos como la edad, el sexo o la profesión, para tenerlos en cuenta desde un punto de vista demográfico.
- Preguntas de presencia: Se busca evaluar la sensación de realismo e inmersión en el mundo real que ofrece el objeto visto utilizando realidad aumentada (Regenbrecht, 2021). En la Tabla 23 podemos observar las preguntas de presencia que se han utilizado en el cuestionario.

Preguntas de presencia
Hubo momentos durante la experiencia en los que creí que los objetos virtuales (p.ej., ábaco) eran reales
¿Observar los objetos virtuales fue tan natural como observar el resto de la sala?
¿Tuviste la impresión de que los objetos virtuales estaban integrados en la sala?
¿Tuviste la impresión de que podías tocar los objetos virtuales?
¿Los objetos virtuales parecían estar (visualizados) en una pantalla, o tuviste la impresión de que estaban colocados en la sala?
¿Tuviste la impresión de ver los objetos virtuales como meras imágenes planas o como objetos tridimensionales?
¿Prestaste atención a la diferencia entre los objetos virtuales y el resto de la sala?
¿Tuviste que hacer esfuerzo para reconocer los objetos virtuales como objetos tridimensionales?

Tabla 23: Preguntas de presencia

- Preguntas de usabilidad y satisfacción: Estas preguntas se basan en el modelo de aceptación de tecnología (TAM). Este modelo permite medir la utilidad y usabilidad del producto (Davis, 1993). La Tabla 24 muestra las cinco preguntas escogidas.

Preguntas de usabilidad y satisfacción
Piensa en la actividad que acabas de realizar. Indica cómo de bien lo has hecho EN GENERAL
Me gustaría utilizar esta aplicación para conocer más piezas del Museo de Informática.
Me resulta divertido conocer piezas del Museo de Informática usando esta aplicación.
Me he sentido cómodo usando la aplicación.
Me resulta fácil conocer piezas del Museo de Informática usando esta aplicación.

Tabla 24: Preguntas de usabilidad y satisfacción



- Cuestionario UEQ (User Experience Questionnaire) ¹⁸ (Laugwitz et al., 2008): Este cuestionario trata de evaluar la experiencia de usuario y la usabilidad del producto. En la Tabla 25 se muestran todas las preguntas del cuestionario UEQ. En este caso, no se va a utilizar la pregunta “rápido-lento” del cuestionario UEQ original.

	1	2	3	4	5	6	7	
Desagradable								Agradable
Incomprensible								Comprensible
Creativo								Sin creatividad
Fácil de aprender								Difícil de aprender
Valioso								Sin valor
Aburrido								Emocionante
No interesante								Interesante
Impredecible								Predecible
Original								Convencional
Obstructivo								Que facilita
Bueno								Malo
Complicado								Fácil
Repelente								Atrayente
Convencional								Novedoso
Incómodo								Cómodo
Seguro								Inseguro
Motivador								Desmotivador
Cubre expectativas								No cubre expectativas
Ineficiente								Eficiente
Claro								Confuso
Poco práctico								Práctico
Ordenado								Desordenado
Atractivo								Feo
Amistoso								Hostil
Conservador								Innovador

Tabla 25: Preguntas UEQ

- Preguntas abiertas. El cuestionario consta de tres preguntas abiertas, las cuales son: “Describe con tus palabras cómo ha sido la experiencia”, “¿Qué mejorarías o añadirías a la aplicación?” y “Añade los comentarios que quieras”.

A continuación, se muestran los resultados de las preguntas de presencia en la Ilustración 37. Estos resultados se muestran en forma de gráfico de cajas y bigotes, también conocidos como boxplot. Las preguntas 7 y 8 cuentan con sus valores invertidos, de modo que cuanto mayor sea el valor, más favorable es la respuesta, con el fin de que la gráfica sea más sencilla y clara de interpretar. La pregunta que más diferencia de opiniones ha generado ha sido la pregunta 7, la cual pregunta si han prestado una gran atención en las diferencias entre el modelo y el entorno. Observando los resultados podemos concluir que, en general, la mayor parte de los

¹⁸ <https://www.ueq-online.org/>

encuestados opina que el ábaco es realista y se integra relativamente en el entorno, aunque las diferencias son evidentes.

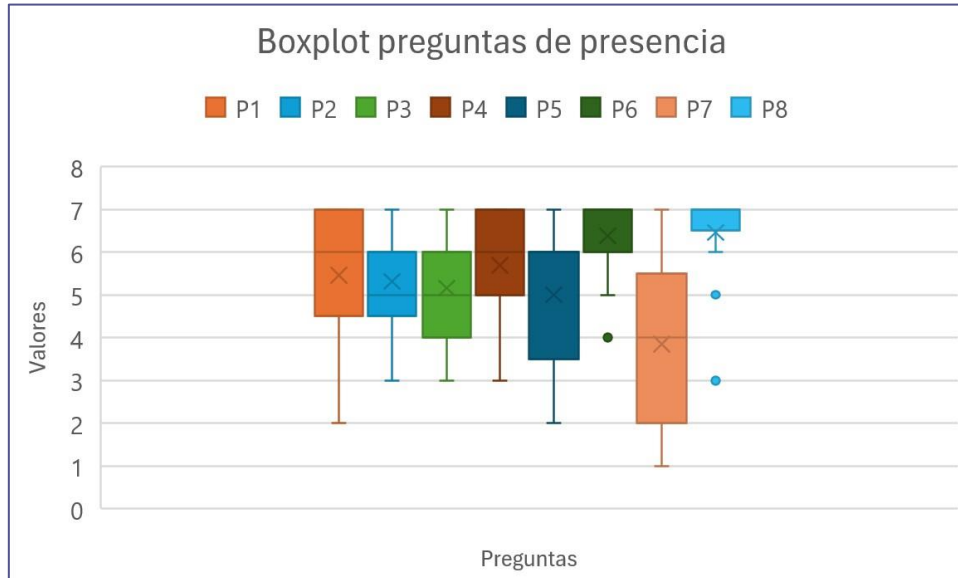


Ilustración 37: Boxplot preguntas de presencia

Seguidamente, se ha realizado un nuevo gráfico de cajas y bigotes para analizar los resultados de las preguntas de usabilidad y satisfacción (Ilustración 38). En este caso los resultados son muy favorables. En líneas generales, los participantes piensan que se trata de una solución cómoda y divertida con la que aprender más acerca de las piezas del museo. Sin embargo, son un poco más modestos respecto a su desempeño utilizando las distintas aplicaciones.

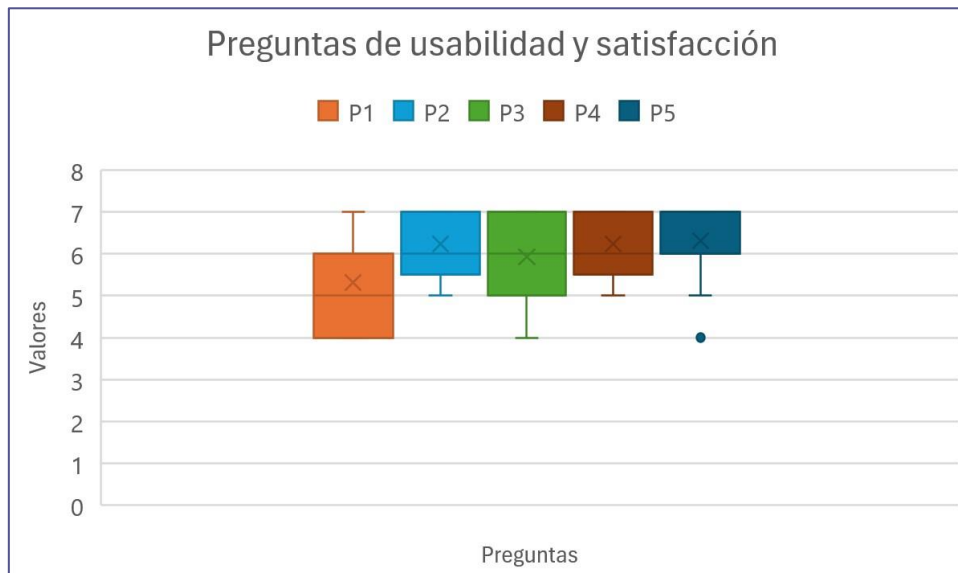


Ilustración 38: Boxplot preguntas de usabilidad y satisfacción

Los resultados de las preguntas UEQ se han analizado utilizando las herramientas propias de este cuestionario disponibles en su página web. La gráfica compara un set de datos grande predefinido por UEQ con los resultados del estudio del producto a evaluar, obteniendo de esta forma la calidad relativa del producto en comparación a



otros 450 estudios de diferentes productos. En la Ilustración 39 se puede ver la gráfica obtenida a partir de la encuesta realizada. En general, el producto se encuentra entre el rango de 10-25% de mejores productos, destacando que se encuentra entre el 10% de los primeros productos en cuanto a transparencia y eficiencia.

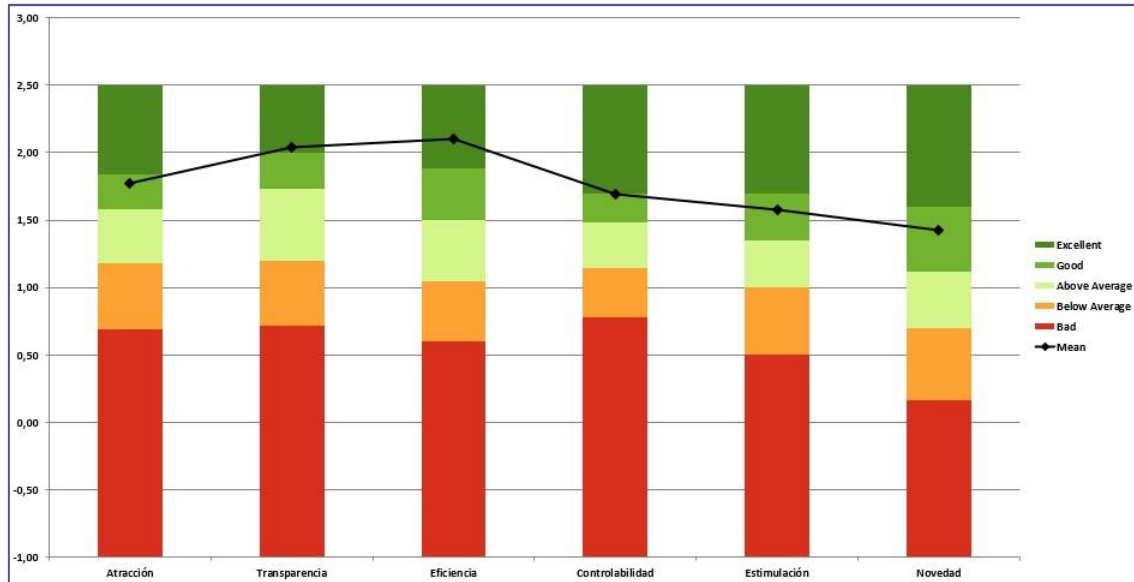


Ilustración 39: Benchmark del cuestionario UEQ

En general, los participantes tienen una opinión favorable de la solución. Sus comentarios indican que las aplicaciones son intuitivas, novedosas e interesantes, si bien es cierto que un participante ha expresado su desconcierto inicial a la hora de utilizar las imágenes. Su carácter didáctico e interactivo las convierte en una experiencia sorprendente. Los comentarios acerca de las mejoras se centran en conseguir una experiencia todavía más accesible para colectivos vulnerables como niños o ancianos, ampliando las explicaciones con un mayor número de diálogos.

Finalmente, se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos en las preguntas abiertas. Para ello, se han elaborado una serie de nubes de palabras, una para cada pregunta, que indican las palabras más repetidas entre las respuestas de los voluntarios.

La primera nube de palabras la podemos observar en la Ilustración 40 y se corresponde a la pregunta “Describe con tus palabras cómo ha sido la experiencia”. Se puede apreciar como las palabras más destacadas hacen referencia a la aplicación como una experiencia fácil, cómoda e intuitiva para aprender.



Ilustración 40: Nube de palabras para la pregunta describe la experiencia

La segunda nube de palabras (Ilustración 41) ilustra los resultados de la pregunta “¿Qué mejorarías o añadirías a la aplicación?”. Por un lado, destacan sobre todo las palabras *ábaco* y *tutorial*, indicando una necesidad de ampliar o mejorar el tutorial disponible en la aplicación Abacus. Por otro lado, en menor medida parece que se ven dos vertientes. Una que busca mejoras respecto al uso del enfoque mediante la cámara del dispositivo, y otra vertiente que busca una mayor accesibilidad para niños y ancianos.



Ilustración 41: Nube de palabras de mejoras posibles

La tercera nube de palabras disponible en la Ilustración 42, se centra en la pregunta “Añade los comentarios que quieras”. Al ser una pregunta de respuesta libre sin un objetivo claro, la nube de palabras ha salido más dispersa. En general, se pueden vislumbrar comentarios positivos elogiando el carácter didáctico y novedoso de la propuesta. Uno de los voluntarios ha puesto incluso un emoticono de apoyo.



Ilustración 42: Nube de palabras sobre comentarios libres

En conclusión, la solución ha recibido una buena acogida por parte del público. El resultado del estudio es favorable e indica que la aplicación es intuitiva y amigable. Además, el uso de la realidad aumentada la convierte en una tecnología inmersiva con un efecto bastante realista, permitiendo al público simular la utilización del ábaco japonés. Los comentarios de los voluntarios se deshacen en halagos a la aplicación, excepto por un usuario que mostró cierta incertidumbre para utilizar el seguimiento de imágenes. Los participantes señalaron cierta posibilidad de mejora en la accesibilidad para personas mayores y niños, así como en los cuadros de diálogo y tutoriales. En definitiva, aunque la aplicación ha demostrado cumplir todas las expectativas y ser bien recibida, todavía queda margen de mejora.



6. Conclusiones

En este TFM se han cumplido tanto el objetivo principal como los objetivos secundarios planteados al inicio del TFM. La solución ideada consiste en un conjunto de tres aplicaciones en la que cada una de ellas se encarga de una funcionalidad diferente.

Por un lado, la aplicación Ábacus permite a los visitantes utilizar una réplica virtual del ábaco japonés exhibido en el museo, permitiendo una máxima interacción con la pieza que, de otra forma, estaría oculta detrás de una vitrina. Además, gracias al tutorial y los ejercicios planteados, es una herramienta excelente para comprender cómo se utilizaban estas herramientas aritméticas.

Por otro lado, la aplicación MCM permite ver las memorias de núcleos de ferrita desde un ángulo nunca visto. Ofreciendo al visitante la posibilidad de observar este tipo de memorias con el nivel de aumento deseado, de modo que sería imposible verlas de esta forma tras la vitrina del museo.

Finalmente, la aplicación Launcher cobija las distintas aplicaciones del museo en una única plataforma, facilitando el acceso y la organización de las mismas. Además, al poder introducir una imagen por cada aplicación, se consigue que su identificación sea realmente rápida y sencilla.

En conjunto, estas aplicaciones han logrado ayudar en la labor divulgativa del museo al conseguir ofrecer una experiencia inmersiva al visitante, sacándolo del hastío de la vida cotidiana. La solución no solo ha conseguido cumplir todos los requisitos y objetivos planteados, sino que ha conseguido instaurar un punto de inicio en la modernización del museo.

El análisis de los datos de la validación realizada revela que la aplicación ha sido un éxito entre los participantes puesto que la han valorado muy positivamente. En general, los comentarios destacan lo amigable e intuitiva que les ha resultado, además de resultarles una experiencia realmente interesante y novedosa.

Finalmente, este proyecto me ha parecido una experiencia única al poder desarrollar una aplicación con un objetivo tan noble como el de fomentar el conocimiento y contribuir con el museo en su labor de conservación y divulgación.

6.1. Trabajos futuros

La solución desarrollada cumple los requisitos planteados inicialmente y ha tenido una buena acogida inicial durante la fase de validación, sin embargo, ofrece innumerables posibilidades de ampliación y mejora.

En primer lugar, se propone la sustitución del tutorial actual de Abacus por un tutorial interactivo paso a paso. Este tutorial estaría dividido por capítulos o lecciones y guiaría al usuario durante su aprendizaje. Comenzaría con la parte teórica junto a un ejemplo

explicativo y terminaría el capítulo realizando un ejercicio simple explicado paso a paso. Esta experiencia conseguiría ampliar la comprensión del funcionamiento del ábaco al ofrecer un entorno más personalizado. Otra posible mejora podría ser el desarrollo de un modo sin realidad aumentada. Este modo permitiría a los usuarios que lo deseen, descargar la aplicación en sus dispositivos para realizar ejercicios en cualquier parte o incluso, utilizar la aplicación a modo de calculadora, reduciendo sus actuales limitaciones.

En segundo lugar, la aplicación MCM podría conseguir una amplia mejora si se conecta con alguna aplicación web o base de datos donde el personal del museo pueda incluir otros modelos e imágenes de piezas del museo. Esta ampliación podría transformar totalmente la herramienta, convirtiéndose así en una herramienta única capaz de aprovechar la tecnología de realidad aumentada para ofrecer al público una forma nunca antes vista de acceso a la colección del museo.

Finalmente, una forma de ampliar la funcionalidad ofrecida por Launcher podría consistir en permitir la descarga, instalación y actualización automática de las aplicaciones del museo desde algún repositorio privado. Es decir, convertirse en una herramienta que permita acceder a todas las aplicaciones que pertenecen al museo. De este modo, el usuario solo tendría que elegir entre las aplicaciones disponibles cuál desea descargar, abrir o actualizar, todo desde un mismo lugar.

6.2. Relación del trabajo desarrollado con los estudios cursados

Mi experiencia universitaria ha sido uno de mis mejores periodos académicos puesto que me ha permitido aprender sobre la profesión que me apasiona rodeada de compañeros con la misma vocación que yo.

Durante todos estos años tanto de carrera como de máster, he adquirido una serie de conocimientos que me han permitido llegar hasta este momento. Este TFM aúna todo este conocimiento en cada una de sus fases de desarrollo. Durante la carrera se aprendieron los conocimientos necesarios para poder desarrollar un proyecto de desarrollo de software completo como es este. Para desarrollar una solución no basta con los contenidos aprendidos en las asignaturas de programación, se deben conocer todas las fases de un proyecto y aplicarlas para que la solución llegue a buen puerto cumpliendo los estándares de calidad esperados.

En este máster se ha aprendido conocimiento más específico que ha contribuido a lo largo del desarrollo de este TFM. En concreto, la asignatura Aplicaciones Gráficas y Multimedia (AGM) es la que me ha permitido elaborar este TFM al enseñarme que las tecnologías de realidad aumentada no son tan inalcanzables como pueda parecer y que yo también puedo desarrollar soluciones que las aprovechen al máximo.

En resumen, la combinación de los conocimientos adquiridos durante la carrera y el máster son lo que me han llevado a terminar este TFM de forma satisfactoria. Además, este TFM refleja mi pasión por la tecnología y mi evolución como profesional en el campo del desarrollo informático a lo largo de estos años.



7. Bibliografía

Alonso Fernández, L. (1993) *Museología introducción a la teoría y práctica del museo*. Madrid: Istmo.

Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. Recuperado de: <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> (Fecha de última consulta: 3 de julio de 2024)

Belkacem, A. N., Kiso, K., Uokawa, E., Goto, T., Yorifuji, S., & Hirata, M. (2020). Neural processing Mechanism of mental calculation based on cerebral oscillatory changes: A comparison between Abacus experts and novices. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14,137. Recuperado de: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00137> (Fecha de última consulta: 28 de julio de 2024)

Calle-Bustos, A. M., Juan, M. C., García-García, I., & Abad, F. (2017). An augmented reality game to support therapeutic education for children with diabetes. *PLOS ONE*, 12(9), e0184645. Recuperado de: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184645> (Fecha de última consulta: 10 de julio de 2024)

Davis, Fred D. (1993) User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38(3), 475-487. Recuperado de: <https://doi.org/10.1006/imms.1993.1022>. (Fecha de última consulta: 23 de agosto de 2024)

Furió, D., Juan, M., Seguí, I., & Vivó, R. (2014). Mobile learning vs. traditional classroom lessons: a comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(3), 189–201. Recuperado de: <https://doi.org/10.1111/jcal.12071> (Fecha de última consulta: 9 de julio de 2024)

Gimeno, J., Portalés, C., Coma, I., Fernández, M., & Martínez, B. (2017). Combining traditional and indirect augmented reality for indoor crowded environments. A case study on the Casa Batlló museum. *Computers & Graphics*, 69, 92–103. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2017.09.001> (Fecha de última consulta: 26 de julio de 2024)

Juan, M. C., Alcañiz, M., Monserrat, C., Botella, C., Baños, R. M., & Guerrero, B. (2005). Using augmented reality to treat phobias. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(6), 31–37. Recuperado de: <https://doi.org/10.1109/mcg.2005.143> (Fecha de última consulta: 10 de julio de 2024)



Juan, M.C., Alexandrescu, L., Folguera, F., García-García, I. (2016). A mobile Augmented Reality system for the learning of dental morphology. *Digital Education Review*, 30, 234-247. Recuperado de:

<http://revistes.ub.edu/index.php/der/article/view/15344> (Fecha de última consulta: 9 de julio de 2024)

Juan, M. C., Loachamín-Valencia M., Garcia-Garcia I., Melchor J.M., Benedito J. (2017) ARCoins. An Augmented Reality App for Learning about Numismatics. The 17th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT2017), 466-468. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.27> (Fecha de última consulta: 15 de julio de 2024)

Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. *Lecture notes in computer science*, 63–76. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6 (Fecha de última consulta: 23 de agosto de 2024)

Mendez-Lopez, M., Juan, M., Burgos, T., Mendez, M., & Fidalgo, C. (2024). How people with brain injury run and evaluate a SLAM-based smartphone augmented reality application to assess object-location memory. *PsyCh Journal*. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1002/pchj.784> (Fecha de última consulta: 10 de julio de 2024)

Mendez-Lopez, M., Perez-Hernandez, E., & Juan, M. (2016). Learning in the navigational space: Age differences in a short-term memory for objects task. *Learning and Individual Differences*, 50, 11–22. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.06.028> (Fecha de última consulta: 9 de julio de 2024)

Regenbrecht, H. & Schubert, T. (2021). Measuring Presence in Augmented Reality Environments: Design and a First Test of a Questionnaire. Recuperado de: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.02831> (Fecha de última consulta: 23 de agosto de 2024)

Ronaghi, M. H., & Ronaghi, M. (2022). A contextualized study of the usage of the augmented reality technology in the tourism industry. *Decision Analytics Journal*, 5, 100136. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100136> (Fecha de última consulta: 11 de julio de 2024)

Ruiz Torres, D. (2010). La realidad aumentada: un nuevo recurso dentro de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para los museos del siglo XXI. *Intervención*, (5), 39–44. Recuperado de:

<https://doi.org/10.30763/Intervencion.2012.5.62> (Fecha de última consulta: 7 de julio de 2024)

Spallone, R., Lamberti, F., Trivel, M. G., Ronco, F., & Tamantini, S. (2021). 3D Reconstruction and presentation of cultural heritage: AR and VR experiences at the museo d'arte orientale di Torino. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M-1–2021, 697–704. Recuperado de:

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-m-1-2021-697-2021> (Fecha de última consulta: 27 de julio de 2024)

Teixeira, N., Lahm, B., Peres, F.F.F., Marquette, C. R., & Natario J. M. X. (2022). Augmented Reality on Museums: the Ecomuseu Virtual Guide. *Proceedings of the 23rd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR '21)*, 147–156. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1145/3488162.3488219> (Fecha de última consulta: 26 de julio de 2024)

Wang, C. (2020). A review of the effects of Abacus training on cognitive functions and neural systems in humans. *Frontiers in Neuroscience*, 14. Recuperado de: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00913> (Fecha de última consulta: 28 de julio de 2024)



Anexo. Objetivos de desarrollo sostenible

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.	X			
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.		X		
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.		X		
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.		X		
ODS 12. Producción y consumo responsables.			X	
ODS 13. Acción por el clima.			X	
ODS 14. Vida submarina.			X	
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.			X	
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Reflexión sobre la relación del TFM con los ODS y con los ODS más relacionados.

Objetivo 4: Educación de calidad

Meta 4.3 Asegurar que todo el mundo pueda acceder a una formación técnica, profesional y superior de calidad.

El TFM tiene como meta acercar el contenido del museo a cualquier tipo de persona. A través de la realidad aumentada, se consigue que los visitantes interactúen y adquieran conocimientos sobre piezas del museo que, de otra forma, solo podrían ver a través de



las vitrinas. Esta tecnología puede facilitar que el público adquiera una mayor comprensión acerca de las piezas y en específico, del funcionamiento de un ábaco japonés, al permitirles interactuar con ellas como si las tuvieran en sus propias manos. Todo ello contribuye a proporcionar una educación de calidad a la sociedad.

Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico

Meta 8.2 Incrementar la productividad económica a través de la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación.

Como se ha visto a lo largo de este documento, es vital que las empresas, en específico instituciones como los museos, se modernicen incorporando las nuevas tecnologías para atraer a un público cada vez más inconformista y exigente. Este proyecto promueve la modernización tecnológica del museo de la informática incorporando diferentes aplicaciones de realidad aumentada a sus exposiciones con el objetivo de atraer a más visitantes. Esta modernización puede generar una mayor actividad económica o la necesidad de mayor personal para guiar a estos visitantes.

Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructuras

Meta 9.5 Aumentar la inversión en investigación y mejorar la capacidad tecnológica incentivando la innovación y la investigación.

Este TFM busca innovar al incluir las nuevas tecnologías en un ámbito que actualmente está poco explorado, el museístico. Mediante el uso de las tecnologías de realidad aumentada, se está mejorando la capacidad tecnológica del museo. Además, al ponerlas al alcance del público en general, es posible que llamen la atención de los visitantes y decidan iniciarse en la investigación tecnológica o bien, aplicarla en sus respectivos sectores de trabajo.

Objetivo 10: Reducción de las desigualdades.

Meta 10.2 Potenciar y promover la inclusión social, económica y política de todas las personas, independientemente de su edad, sexo, discapacidad, raza o cualquier otra condición.

Aunque no ha sido el principal objetivo del proyecto, tiene potencial para contribuir en la mejora de la accesibilidad del museo para personas con discapacidades. Dado que las aplicaciones han sido diseñadas para que sean lo más intuitivas y amigables posibles, pueden contribuir a reducir las desigualdades en el acceso al conocimiento dentro del museo. Al utilizar tecnología de realidad aumentada, es posible que mejoren la experiencia de ciertos colectivos durante su visita. Por ejemplo, personas con visión reducida pueden acercar las imágenes y modelos todo lo que necesiten, además, al estar en dispositivos móviles o tabletas, pueden ajustar el brillo de la pantalla para poder aumentar su visibilidad.

Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles.

Meta 11.4 Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.

Este proyecto ha desarrollado distintas reproducciones virtuales de algunas de las piezas disponibles en el museo de informática, lo cual ayuda a proteger su patrimonio cultural de diversas maneras. Por un lado, los contenidos digitales no sufren la erosión del tiempo de la misma forma que las piezas físicas, por lo que pueden ayudar a mejorar su preservación a largo plazo. Por otro lado, al contar con una experiencia virtual, no es necesario que el público interactúe físicamente con las piezas por lo que se reducirá considerablemente su desgaste y la probabilidad de rotura. Además, al aprender sobre estas piezas y su importancia en mayor profundidad, aumenta la concienciación del público respecto a su preservación.