



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

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

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Informática

AUTOR/A: Baixauli Herráez, Alberto

Tutor/a: Juan Lizandra, María Carmen

Cotutor/a: García Granada, Fernando

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

El Museo de Informática de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica de la Universitat Politècnica de València ofrece una visita libre que permite explorar su exposición sobre el avance de la informática en las últimas décadas. Los visitantes pueden recorrer el Museo observando la historia de la informática, como son los primeros computadores personales, dispositivos de almacenamiento, estaciones de trabajo, sistemas operativos y videojuegos, exhibidos en vitrinas con información didáctica y divulgativa. Actualmente, la visita se realiza de manera tradicional, observando el material físico y leyendo la información asociada.

En este TFM, se propone diseñar, desarrollar y validar una aplicación de realidad aumentada que transforme la visita al Museo en una experiencia lúdica y educativa. La aplicación será desarrollada utilizando las plataformas Unity y Vuforia, y no requerirá la adición de elementos físicos a las vitrinas para funcionar correctamente. Para ello, se empleará la tecnología de seguimiento del entorno, específicamente mediante el uso de “area targets” de Vuforia.

El proceso de desarrollo comenzará con el escaneo del entorno real utilizando un iPad Pro equipado con un sensor LiDAR, a través de la aplicación Vuforia Creator. El escaneo permitirá crear un modelo digital del Museo que se importará en Unity para desarrollar la aplicación de realidad aumentada. De esta manera, la aplicación podrá reconocer las vitrinas del Museo escaneado y superponer información aumentada en la ubicación y orientación deseadas, sobre un dispositivo o material específico.

La aplicación se focalizará en una sección particular del Museo, de acuerdo con el interés de éste en proporcionar a los visitantes una herramienta que enriquezca la experiencia de su visita. El desarrollo y validación de esta aplicación permitirán ofrecer una visita más interactiva y formativa, alineada con las nuevas tecnologías y las tendencias actuales en museos y educación.

Palabras clave: realidad aumentada; Museo de Informática; Vuforia; area targets.

Abstract

The Museum of Computer Science at the Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica of this University is open for free visits. The museum provides a tour that showcases the rapid technological progress over recent decades, offering visitors a chance to explore its exhibits through various display cases. These display cases provide a didactic and informative view of the evolution of early personal computers, storage devices, workstations, operating systems, video games, and more. Currently, visitors experience the museum by observing the physical artifacts and reading the information located nearby.

This TFM proposes the design, development, and validation of an augmented reality application to enhance the educational and recreational aspects of visiting the Museum of Computer Science at ETSINF. The application will be developed using Unity and Vuforia, and will not require additional physical elements to function correctly. Instead, the application will utilize environmental tracking through Vuforia area targets.

The development process will begin with scanning the real environment using an iPad Pro with a LiDAR sensor, through the Vuforia Creator application. This scan will create a digital model of the museum, which will be imported into Unity for the integration of augmented reality. This approach allows the application to recognize the museum's display cases and overlay augmented information at the desired position and orientation, such as on specific devices or materials.

The application will focus on a particular section of the museum, according to the museum's interest in providing visitors with a tool that enhances their visit. The development and validation of this application will offer a more interactive and educational experience, aligned with current technological trends and museum practices.

Keywords : augmented reality; Museum of Computer Science; Vuforia; area targets.



Tabla de contenidos

1. Introducción.....	7
1.1. Motivación.....	7
1.2. Objetivos.....	8
1.3. Impacto.....	9
1.4. Metodología.....	9
1.5. Estructura.....	11
2. Estado del arte.....	13
2.1. Realidad aumentada.....	13
2.2. Sistemas de detección y mapeo.....	14
2.3. Situación actual.....	16
2.3.1. ARCoins.....	17
2.3.2. Young Museum.....	18
2.3.3. Museo de la Acrópolis.....	19
2.3.4. The National Gallery.....	19
3. Análisis.....	22
3.1. Requisitos funcionales.....	23
3.2. Requisitos no funcionales.....	28
3.3. Propuesta.....	31
3.3.1. Mockups.....	31
3.3.2. Experiencia.....	34
3.3.3. Manejo de las escenas y cámara.....	35
3.3.4. Sonido.....	36
4. Implementación del sistema.....	38
4.1. Escaneo del Museo.....	38
4.2. Software de desarrollo.....	41
4.2.1. Vuforia.....	41
4.2.2. Unity.....	42
4.2.3. Blender.....	43
4.2.4. Visual Studio Code.....	44
4.2.5. Area Target Generator.....	44
4.2.6. Amazon Polly.....	45
4.3. Diseño del sistema.....	46
4.3.1. Interfaz de la aplicación.....	46
4.3.2. MultiArea Target.....	52
4.3.3. Sistema de información de las piezas del Museo.....	54
4.3.4. Olivetti Summa Prima 20.....	56

4.3.5. Sistema de sonido.....	60
4.3.6. Avatar.....	62
5. Estudio y resultados.....	64
5.1. Participantes.....	64
5.2. Medidas.....	64
5.3. Protocolo definido.....	64
5.4. Análisis.....	65
5.5. Valoración.....	69
6. Conclusiones.....	71
6.1. Trabajos futuros.....	71
7. Referencias.....	73
Anexo I - ODS.....	75



1. Introducción

En las últimas décadas, la industria del entretenimiento y los videojuegos ha experimentado una notable expansión en el uso de la Realidad Aumentada (RA), impulsada por el creciente interés de los usuarios. Desde el desarrollo de nuevos dispositivos hasta la optimización del software de análisis y procesamiento, todos los componentes fundamentales de esta tecnología han evolucionado con el objetivo de brindar a los usuarios una experiencia cada vez más fluida e inmersiva.

Lo que hasta hoy sigue considerándose una tecnología emergente, e incluso de nicho para ciertos sectores de la población, ha comenzado a expandir su alcance y a dirigirse hacia un público más amplio. Esta tecnología, que inicialmente capturó la atención de entusiastas de la tecnología y desarrolladores, ha empezado a penetrar en el mercado, acercándose cada vez más al usuario promedio.

Esto se refleja en la integración de la realidad aumentada en los dispositivos cotidianos, aplicaciones móviles y servicios que buscan hacerla más accesible y relevante para un mayor número de personas y por ende expandir el abanico de posibilidades de esta tecnología.

Es precisamente bajo este contexto que la realidad aumentada está experimentando un apogeo en el desarrollo de aplicaciones educativas y divulgativas, lo que abre un mar de oportunidades para el aprendizaje interactivo. Gracias al uso de esta tecnología podemos superponer información digitalmente sobre el mundo real ofreciendo una experiencia más atractiva al público objetivo.

Los museos y centros científicos no son una excepción y en los últimos años han comenzado a adoptar exhibiciones y tours dinámicos que permiten a sus visitantes explorar contenidos de una forma más inmersiva y atractiva. Estas aplicaciones no sólo hacen que el aprendizaje sea más entretenido, sino que también facilitan la comprensión de temas complejos al permitir una interacción directa con el contenido, haciendo que la educación sea más accesible y efectiva para todos.



1.1. Motivación

El creciente interés por este tipo de experiencias es lo que impulsa al Museo de Informática a mejorar el recorrido que han diseñado para ilustrar la evolución de las máquinas de cálculo a lo largo de la historia. De este modo, se logra que la experiencia divulgativa adquiera un carácter lúdico, haciendo que resulte más inmersiva y atractiva.

Personalmente, este es un proyecto atractivo para mis intereses y se alinea estrechamente con una de mis pasiones dentro de la informática: su aplicación dentro de la enseñanza y su aplicación como herramienta para potenciar aspectos de la vida. Según mi forma de ver esta disciplina, creo que una de las mejores formas de aplicar precisamente los conocimientos que uno adquiere a lo largo de los años es poniéndolos a disposición de otros. Ayudando a crear experiencias tecnológicas que no solo sean funcionales, sino que también inspiren y motiven a las personas que las utilizan.

Esta es una de las razones por las que me apasiona tanto este proyecto: porque veo en él la posibilidad de utilizar la informática para mejorar la manera en que las personas interactúan con la tecnología y acceden al conocimiento.

1.2. Objetivos

El objetivo de este TFM es desarrollar y validar una aplicación de realidad aumentada basada en seguimiento del entorno que ayude a dinamizar las visitas guiadas al Museo de Informática de la ETSINF.

Para llevar a cabo dicho objetivo se han determinado los siguientes subobjetivos:

- Diseñar y desarrollar una aplicación de realidad aumentada basada en seguimiento del entorno que permita disfrutar de una guía sobre el Museo de Informática.
- Desarrollar una experiencia atractiva y veraz con respecto a los modelos diseñados e implementados en el recorrido.
- Realizar un estudio sobre la aplicación desarrollada y su uso en el Museo.
- Analizar los datos obtenidos del estudio para determinar las posibles carencias o virtudes de la propuesta realizada.

Esta aplicación no solo aumentará la información disponible en las vitrinas del Museo, sino que también permitirá a los visitantes explorar de manera más inmersiva y atractiva los aspectos más

relevantes de las piezas expuestas. A través de la realidad aumentada, se ofrecerán descripciones y contenidos multimedia que enriquecerán la comprensión de las piezas expuestas en esta sección del Museo.

Además, la aplicación permitirá simular el comportamiento real de algunas máquinas de cálculo científico históricas, proporcionando a los usuarios una experiencia lúdica e inmersiva que recrea cómo se interactuaba con estos dispositivos en el pasado.

Este enfoque no solo crea un pequeño ecosistema digital dentro del Museo, sino que también transforma la manera en que los visitantes experimentan la exposición. La realidad aumentada facilitará una experiencia más dinámica y atractiva, capturando la atención del público y haciendo que el aprendizaje sea más accesible y entretenido.

Como resultado, el uso de la aplicación no sólo agilizará el recorrido guiado, sino que también lo convertirá en una experiencia más interactiva y memorable para todos los visitantes.

1.3. Impacto

El principal objetivo es transformar la forma en que los visitantes experimentan y exploran las exposiciones, motivando una interacción más atractiva y significativa con las piezas expuestas en el Museo. Se busca por tanto, proporcionar a los visitantes una experiencia enriquecida, ofreciendo información adicional y contenidos interactivos que mejoren su comprensión y apreciación.

Además, se pretende fomentar el interés por las visitas presenciales al Museo, destacando las ventajas únicas de la interacción física con las exposiciones.

Finalmente, se espera que el proyecto pueda tener un impacto en la sociedad, ayudando al cumplimiento de los conceptos contemplados en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

1.4. Metodología

Para garantizar el éxito en la realización de este TFM, se ha estructurado el trabajo en cuatro fases bien definidas: análisis, diseño, implementación y validación. Estas fases siguen un enfoque metodológico que asegura un desarrollo ordenado y coherente del TFM.

La primera fase, de análisis, se enfocará en estudiar detalladamente el estado actual de las tecnologías de realidad aumentada y su aplicación en museos. Este análisis permitirá identificar



las oportunidades y desafíos que presentan estas tecnologías para la creación de experiencias interactivas y educativas en ellos.

En la fase de diseño, se definirán los aspectos clave del proyecto, incluyendo los requisitos funcionales y los prototipos de usuario. Esta etapa es crucial para evaluar la viabilidad del proyecto y prever posibles obstáculos, garantizando que todos los elementos necesarios para la construcción del sistema estén correctamente planificados.

Una vez completado el diseño, se pasará a la fase de implementación, donde se llevará a cabo la implementación de la aplicación. Esto incluirá el escaneo del Museo, la integración de los modelos 3D en Unity, y la configuración de los "area targets" que permitirán la interacción aumentada con las piezas del Museo. Durante esta fase, se tomarán decisiones sobre qué objetos y vitrinas del Museo de Informática serán digitalizados y cómo se integrarán en la aplicación.

Finalmente, la fase de validación consistirá en pruebas exhaustivas con usuarios reales para asegurar que todos los aspectos diseñados y los requisitos definidos funcionen correctamente. Esta fase no sólo comprobará la funcionalidad técnica, sino que también recogerá las opiniones de los usuarios que servirán de retroalimentación al sistema permitiendo así realizar ajustes y mejoras que optimicen la experiencia del visitante y cumplan con los objetivos del proyecto.

Esta metodología se acerca bastante a lo que en informática es conocida como una metodología de proceso unificado racional (RUP) (Kroll & Macisaac, 2006).

1.5. Estructura

En esta memoria se detallará el proceso completo de desarrollo de la aplicación móvil en el marco del TFM, abordando todos los aspectos clave que han influido en el mismo.

En el capítulo dos se presentará una revisión del estado del arte, es decir, un análisis de la situación actual del campo de la realidad aumentada. Este análisis incluirá las tendencias más recientes, las tecnologías emergentes, y los desafíos y oportunidades en este ámbito, proporcionando así un contexto para entender el entorno en el que se ha desarrollado la aplicación.

En el capítulo tres se procederá a realizar un análisis de los requisitos de la aplicación, abarcando tanto los requisitos funcionales como los no funcionales. Este apartado nos permitirá definir claramente las especificaciones que guiarán el diseño y desarrollo de la aplicación.

En el capítulo cuatro se detallarán las herramientas de software y hardware empleadas durante el proceso de desarrollo. Esto incluirá desde la generación de mockups y prototipos iniciales hasta la implementación final de la aplicación en el entorno de desarrollo Unity. Se describirá el papel de cada herramienta en el proceso, así como su impacto en el resultado final.

En el capítulo cinco se llevará a cabo un análisis de la propuesta desarrollada. Se evaluarán los logros alcanzados, se identificarán posibles áreas de mejora y se discutirán las implicaciones de los resultados obtenidos.

En el capítulo seis se presentará un apartado dedicado a las conclusiones generales del TFM y se propondrán recomendaciones para trabajos futuros, destacando posibles direcciones o mejoras en futuras versiones de la aplicación.

2. Estado del arte

2.1. Realidad aumentada

Gracias a los avances tecnológicos de las últimas décadas, se ha podido constatar cómo esta tecnología ha comenzado a integrarse en la vida de los usuarios. La realidad aumentada es una tecnología que, utilizando como lienzo el mundo real, construye y genera elementos virtuales que amplían los límites de la misma, enriqueciendo la percepción de sus usuarios (Azuma, 1997).

La realidad aumentada plantea un escenario donde los desarrolladores tratan de mejorar las experiencias de los usuarios. A diferencia de la realidad virtual (RV), que sumerge al usuario en un entorno completamente artificial con una alta capacidad de inmersión, la realidad aumentada centra sus esfuerzos en superponer información como imágenes, sonidos o gráficos sobre el mundo real, manteniendo la interacción con el entorno físico.

En base a esta capacidad de la propia tecnología, se ha podido ver como un gran número de aplicaciones han surgido para tratar de apoyar multitud de diversos propósitos, como puede ser su aplicación para educación de temas curriculares (Furió et al., 2015), aprendizaje de neuroanatomía en educación superior (Mendez-Lopez et al., 2016), educación terapéutica en diabetes (Calle-Bustos et al., 2017), tratamiento de fobias (Juan et al., 2005) o la evaluación de la memoria espacial (Munoz-Montoya et al., 2021).

Independientemente del entorno en el que nos centramos se ha podido observar cómo la realidad aumentada tiene cabida en todo espacio que trate con la realidad de forma cercana y directa. En la Figura 1 se muestra una aplicación de RA utilizada en el Museo Mary Rose. Es precisamente por ello que su uso también puede expandirse al entorno del TFM.



Figura 1: Aplicación móvil de RA, The Mary Rose Museum.

Partiendo de un punto de vista puramente historiográfico, la realidad aumentada puede ser utilizada con el objetivo de restaurar y visualizar piezas históricas que por condiciones externas al museo no se encuentren en su mejor estado (Baratta et al., 2018; Gherardini, 2019) o incluso ofrecer un gran abanico de información que apoye directamente las guías turísticas que se ofrecen en los mismos (Martí-Testón et al., 2021; Falomo et al., 2021).

2.2. Sistemas de detección y mapeo

En un mundo cada vez más digitalizado, la capacidad de comprender y mapear el entorno físico en tiempo real ha adquirido una importancia crítica en el desarrollo de tecnologías como la realidad aumentada, la robótica autónoma, la domótica e incluso el propio desarrollo de vehículos autónomos. Es vital para todos estos campos entender a la perfección el entorno que les rodea, para que puedan funcionar en la plenitud de sus capacidades y conseguir con ello una mejor calidad de vida para sus usuarios.

Es bajo estos preceptos que el desarrollo de dichos sistemas centra sus esfuerzos principalmente en los dos aspectos más importantes, los cuales son el propio sensor, capaz de captar el mundo que le rodea, y el algoritmo que utilizan, que tratará de entender la información adherida a ese mundo.

Los sensores constituyen la base de los sistemas de detección y mapeo, proporcionando los datos necesarios para la interpretación y modelado del entorno, siendo LiDAR (Light Detection and Ranging) uno de los más utilizados en la actualidad gracias a su capacidad de generar mapas tridimensionales de alta resolución mediante la emisión de pulsos de luz. En la Figura 2 se puede observar el entorno 3D de un puente generado mediante el uso de escáneres LiDAR.



Figura 2: Entorno 3D generado mediante el uso del escáner LiDAR.

LiDAR es ampliamente utilizado en los vehículos autónomos y en algunos robots de última generación, sin embargo uno de sus usos más cercanos ha sido precisamente su incorporación parcial en los últimos dispositivos telefónicos de Apple, estando presentes en la gama PRO.

Gracias a este escáner, los usuarios, utilizando aplicaciones especializadas, pueden generar desde modelos virtuales simples de objetos reales, hasta generar espacios 3D que más tarde serán utilizados en el desarrollo de aplicaciones de RA.

No obstante, aunque el uso de la tecnología LiDAR es necesario para escanear un entorno con precisión, no es indispensable para su reconocimiento. En la actualidad, cualquier cámara monocular o estereoscópica puede detectar un escenario, una imagen e incluso objetos tridimensionales apoyándose en el software que utiliza. Esto es posible gracias a su capacidad de percibir, con cierto margen de error, la profundidad de los objetos en una habitación, lo que permite tanto la navegación como el reconocimiento de objetos. Como se puede observar en la Figura 3, Vuforia puede utilizar una cámara móvil común para reconocer el objetivo.



Figura 3: Teléfono móvil reconociendo una imagen mediante el uso de Vuforia.

Por lo que se refiere al propio algoritmo, existen multitud de formas y procedimientos que se utilizan en la actualidad para analizar los datos que son percibidos por los sensores. En el campo de la robótica y los vehículos autónomos se suele utilizar SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), el cual es un conjunto de algoritmos que permiten la construcción de un mapa 3D de un entorno a priori desconocido, con el objetivo de situarse y poder navegar por él mismo.

A pesar de su gran utilidad dentro de esos campos, el uso completo de SLAM en dispositivos móviles suele ser innecesario, principalmente debido a que las aplicaciones desarrolladas generalmente no requieren una funcionalidad tan amplia. Es por ello que dado que las necesidades son más específicas, los avances en este entorno se han enfocado principalmente en el reconocimiento de imágenes y entornos 3D estáticos.

Estos algoritmos, que basan su lógica en poder identificar y clasificar objetos, son esenciales en aplicaciones donde el contexto visual es crítico, como es la RA. En la Figura 4 se puede observar una representación acertada de como ayuda SLAM a guiar un robot autónomo por la planta de un edificio.

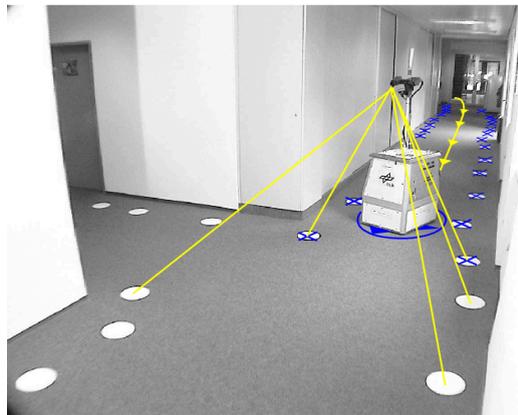


Figura 4: Representación gráfica de SLAM en un robot autónomo.

2.3. Situación actual

En sus inicios, el uso de la realidad aumentada en museos se limitaba principalmente a aplicaciones experimentales y proyectos de investigación. Estas iniciativas tenían como objetivo explorar las posibilidades tecnológicas y creativas que ofrecía la RA. Las primeras aplicaciones solían requerir dispositivos especializados, como gafas o visores de realidad aumentada, lo que dificultaba su incorporación por cuestiones económicas y resultaba poco accesible para la mayoría de las instituciones.

Sin embargo, los avances tecnológicos han cambiado este panorama. El desarrollo de dispositivos móviles más potentes y la mejora en la conectividad a internet han permitido que la RA sea mucho más accesible tanto para los museos como para sus visitantes. Hoy en día, basta con un teléfono móvil para que los usuarios puedan disfrutar de experiencias enriquecedoras dentro de un museo.

Esta evolución ha permitido que los museos transformen sus exposiciones, haciéndolas no solo más interactivas, sino también más educativas y atractivas. La RA posibilita que los visitantes interactúen con objetos de las colecciones de una nueva forma, como ver recreaciones en 3D de piezas históricas, acceder a información multimedia adicional o visualizar cómo eran ciertos objetos en su contexto original. Esta combinación de tecnología y cultura no solo enriquece las exposiciones, sino que también ofrece nuevas formas de aprendizaje, adaptadas a distintos niveles de interés y conocimiento.

Además, la realidad aumentada amplía el acceso a la información. Los visitantes pueden personalizar su experiencia, obteniendo más detalles sobre los aspectos que más les interesan, mientras que los museos logran atraer a públicos más jóvenes y tecnológicamente conectados.

2.3.1. ARCoins

ARCoins es una aplicación de realidad aumentada creada para ayudar en el aprendizaje informal sobre numismática. La aplicación ayuda a los visitantes del museo a leer el texto deteriorado de las monedas. De igual modo, muestra información adicional que ofrece una idea clara del significado general de la acuñación de las mismas (Juan et al., 2021). Esta aplicación fue desarrollada para enriquecer el aprendizaje sobre numismática de los usuarios, brindando una experiencia interactiva y visualmente inmersiva mediante el uso de realidad aumentada.



Figura 5: Aplicación ARCoins resaltando el texto deteriorado de la moneda romana.

El concepto detrás de ARCoins es utilizar dispositivos móviles para que los usuarios puedan explorar de forma interactiva las monedas, pudiendo leer el texto deteriorado en las mismas (Figura 5), lo que resulta especialmente útil en entornos educativos o museos.

Al enfocar una moneda con la cámara del dispositivo, la aplicación presenta información detallada sobre la moneda en tiempo real sobre la imagen física. Esto permite que los usuarios puedan apreciar mejor los detalles históricos, culturales y artísticos de las monedas sin necesidad de interactuar directamente con ellas.

2.3.2. Young Museum

La exposición, inaugurada a principios de enero de 2024, utiliza pantallas que mediante una cámara son capaces de detectar y reproducir la imagen que tienen en frente suya como si de un espejo se tratase. Una vez identifican a la persona que se ha situado delante suya utiliza la RA para mostrar a los visitantes con los distintos vestidos expuestos en la exhibición de moda de alta costura que tiene el museo¹. Se puede ver la experiencia ofrecida en la Figura 6.



Figura 6: Persona experimentando con la aplicación del Young Museum.

Desarrollada por Snap Inc., la aplicación no solo busca entretener a los visitantes, sino también educarlos sobre la historia de cada diseño. Proporciona una conexión inmersiva entre los asistentes y la moda de diversos diseñadores, como puede ser Yves Saint Laurent.

¹ <https://www.famsf.org/press-room/fine-arts-museums-of-san-francisco-and-snap-inc-partner>

2.3.3. Museo de la Acrópolis

El proyecto CHES² (Experiencias de patrimonio cultural a través de interacciones socio-personales y narración de historias) tenía como objetivo integrar diversas disciplinas en el desarrollo de un nuevo plan turístico para el museo ateniense. Este plan estaba diseñado para mejorar la experiencia de los visitantes mediante el uso de realidad aumentada y mixta. Con estas herramientas, se buscaba ofrecer una interacción más inmersiva y enriquecedora con el patrimonio cultural (Figura 7).



Figura 7: Proyecto CHES en una tablet.

El principal objetivo detrás de la iniciativa era investigar, implementar y evaluar tanto la experiencia interactiva desarrollada, como los mismos contenidos elaborados por los distintos expertos de la Acrópolis. A través de este proyecto, se busca transformar la forma en que los visitantes se relacionan con el patrimonio cultural de la ciudad, proporcionando experiencias inmersivas que se adaptan a sus intereses y profundizando en su comprensión y conexión emocional con las historias presentadas.

² <https://www.chessexperience.eu/>

2.3.4. The National Gallery

La National Gallery³ en Londres es otro museo que ha decidido utilizar la realidad aumentada para llevar sus colecciones más allá de sus paredes, ofreciendo una experiencia accesible. Gracias a esta aplicación, obras clásicas y modernas de artistas como Vincent Van Gogh o Georges Pierre Seurat aparecieron repartidas por las calles de la ciudad inglesa.

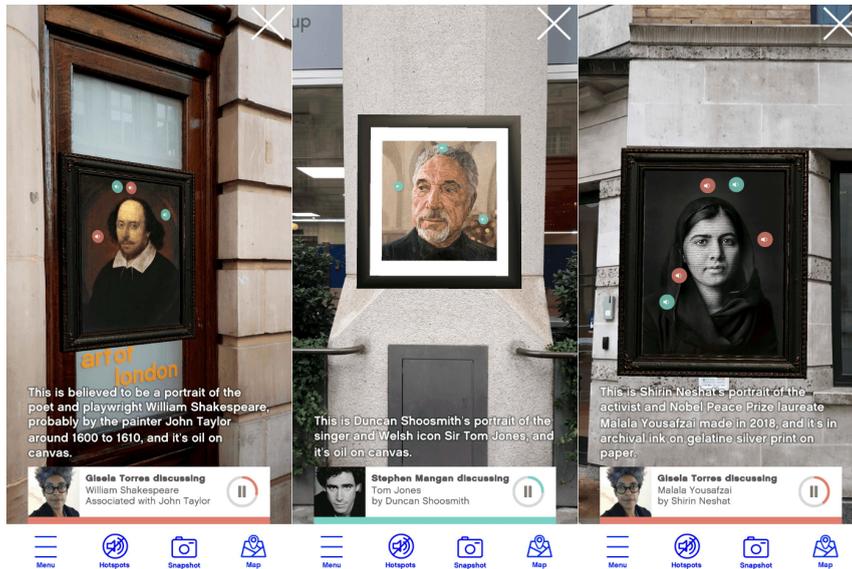


Figura 8: Aplicación en ejecución desarrollada para The National Gallery.

Esta iniciativa permitió a las personas interactuar con el arte en un entorno distinto, haciendo que las obras pudieran ser vistas de una forma más inmersiva fuera del propio museo, como se puede observar en la Figura 8. También cabe destacar que uno de los motivos que propició el desarrollo de este proyecto fue tratar de proteger las distintas obras que se encontraban en el museo, pues varias de ellas fueron sustituidas por los distintos objetivos que utilizaba la aplicación para visualizar las piezas.

³ <https://artoflondon.co.uk/events/augmented-reality-art-gallery>



3. Análisis

En este capítulo llevaremos a cabo un análisis exhaustivo del problema planteado por el Museo de Informática de la ETSINF en relación con el desarrollo de la aplicación. Es fundamental para garantizar que la aplicación no solo cumpla con las expectativas del Museo, sino que también ofrezca una experiencia enriquecedora para sus visitantes.

El análisis comenzará con la identificación y definición de los requisitos funcionales y no funcionales que deberá cumplir la aplicación. Los requisitos funcionales se centrarán en las características y funcionalidades mínimas que la aplicación debe incorporar. Esto incluye aspectos como la navegación, la interactividad, el acceso a información contextual, y las capacidades de personalización, entre otros.

Por otro lado, los requisitos no funcionales abordarán aspectos críticos como la usabilidad, el rendimiento, la seguridad y la compatibilidad. Estos requisitos garantizarán que la aplicación no solo funcione correctamente, sino que también sea eficiente, segura, y fácil de usar. Se prestará especial atención a la accesibilidad, asegurando que la aplicación sea inclusiva y esté disponible al mayor número de usuarios posible, independientemente de sus habilidades. Además, se considerará la capacidad de la aplicación para manejar múltiples idiomas, garantizando así que el contenido esté disponible para un público diverso.

Una vez que los requisitos funcionales y no funcionales hayan sido claramente definidos y establecidos, procederemos a detallar la propuesta de desarrollo. Esta propuesta describirá cómo se planea abordar los requisitos identificados, incluyendo las tecnologías a emplear, la arquitectura de la aplicación, el diseño de la interfaz de usuario, y el plan de implementación.

3.1. Requisitos funcionales

En esta sección se introducirán todos los requisitos funcionales definidos para poder recoger la petición del Museo, requisitos los cuales debe cumplir la aplicación para determinar que cumple con los estándares mínimos aceptables.

En la Tabla 1 se puede observar un requisito funcional esencial para el correcto funcionamiento de la aplicación: es necesario tener una versión de Android superior a la 10.0. Este requisito se debe a los programas y tecnologías utilizados para el desarrollo de la aplicación, que requieren características y compatibilidades específicas que solo están disponibles en versiones más recientes.

Código	RF-01
Nombre	Instalación y descarga de la aplicación
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe poder descargarse e instalarse correctamente en el dispositivo Android del usuario.
Importancia	Esencial
Restricciones	Sólo funciona en Android y a partir de la versión 10.0

Tabla 1: Requisito funcional: Instalación y descarga de la aplicación.

De manera similar, es esencial que la aplicación cuente con una cámara trasera incorporada para su funcionamiento. Este requisito, definido en la Tabla 2, es fundamental porque la cámara trasera es la que se utilizará para captar y procesar las imágenes de las piezas del Museo.

Código	RF-02
Nombre	Detectar el entorno del Museo
Dependencias	RF-01
Descripción	La aplicación debe poder utilizar la cámara para poder detectar el área atribuida al Museo de Informática.
Importancia	Alta
Restricciones	

Tabla 2: Requisito funcional: Detectar el entorno del Museo.

En la Tabla 3 se define la necesidad de utilizar la cámara del dispositivo, ya que es esencial para el reconocimiento y detección de las distintas piezas del Museo. Esta funcionalidad es crucial, ya que permite a la aplicación identificar y superponer información sobre las exposiciones en el Museo.

Código	RF-03
Nombre	Identificar las piezas seleccionadas del Museo
Dependencias	RF-02
Descripción	La aplicación debe poder utilizar la cámara para poder detectar las distintas piezas del Museo que tengan información adicional.
Importancia	Alta
Restricciones	

Tabla 3: Requisito funcional: Identificar las piezas seleccionadas del Museo.

En la Tabla 4 se define la necesidad de añadir y mostrar información adicional en pantalla mediante la selección de las distintas máquinas de cálculo expuestas en el Museo. Esta funcionalidad es fundamental en cualquier aplicación de realidad aumentada que colabore con un museo, ya que permite a los usuarios obtener detalles sobre cada pieza expuesta al interactuar con ellas.

Código	RF-04
Nombre	Leer la información adicional.
Dependencias	RF-03
Descripción	La aplicación debe mostrar la información adicional atribuida a las piezas seleccionadas.
Importancia	Alta
Restricciones	

Tabla 4: Requisito funcional: Leer la información adicional.

Para ampliar el número de usuarios que pueden utilizar la aplicación y mejorar tanto la inmersión como la experiencia general, se ha definido el requisito funcional descrito en la Tabla 5. Al integrar pistas de audio, la aplicación enriquecerá la experiencia de los visitantes al proporcionarles información adicional, facilitando una comprensión más completa de las exposiciones y mejorando la accesibilidad para aquellos que prefieren o necesitan una guía especializada.

Código	RF-05
Nombre	Escuchar la guía del Museo.
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe ejecutar las pistas de audio atribuidas a la guía turística del Museo.
Importancia	Alta
Restricciones	

Tabla 5: Requisito funcional: Escuchar la guía del Museo.

En la Tabla 6 se ha definido la necesidad de que la aplicación pueda emular el comportamiento de las distintas máquinas de cálculo del Museo de Informática. Esta funcionalidad es esencial para mejorar la experiencia educativa de la aplicación, ya que permitirá a los usuarios interactuar con simulaciones precisas de las piezas, proporcionando una comprensión más profunda de su funcionamiento y evolución.

Código	RF-06
Nombre	Emular el comportamiento de las piezas del Museo.
Dependencias	
Descripción	La aplicación deberá emular correctamente el comportamiento de las distintas piezas del Museo seleccionadas, pudiendo replicar el funcionamiento real de las mismas.
Importancia	Alta
Restricciones	

Tabla 6: Requisito funcional: Emular el comportamiento de las piezas del Museo.

Para facilitar el entendimiento de las distintas piezas del Museo, se ha definido la necesidad de crear guías educativas dentro de la aplicación. Este requisito funcional está detallado en la Tabla 7.

Código	RF-07
Nombre	Ofrecer una guía de uso de las piezas del Museo.
Dependencias	
Descripción	La aplicación deberá suministrar un tutorial o guía de uso para aprender a utilizar las distintas piezas del Museo que puedan ser emuladas dentro del sistema.
Importancia	Alta
Restricciones	

Tabla 7: Requisito funcional: Ofrecer una guía de uso de las piezas del Museo.

En la Tabla 8 se ha definido la posibilidad de cambiar el idioma en la aplicación. Esta funcionalidad permite a los usuarios seleccionar el idioma de su preferencia, lo que amplía la accesibilidad de la aplicación y mejora su capacidad para llegar a un público más amplio.

Código	RF-08
Nombre	Cambiar de idioma.
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe permitir al usuario cambiar el idioma de la aplicación.
Importancia	Baja
Restricciones	

Tabla 8: Requisito funcional: Cambiar de idioma.

En la Tabla 9 se define la posibilidad de cambiar la configuración gráfica de la aplicación en tiempo de ejecución. Esta funcionalidad permite a los usuarios ajustar la experiencia visual de la aplicación de acuerdo con las capacidades técnicas de sus dispositivos móviles.

Código	RF-09
Nombre	Cambiar la configuración gráfica.
Dependencias	
Descripción	La aplicación debe permitir al usuario cambiar la configuración gráfica de la aplicación para adecuarla a las capacidades del mismo.
Importancia	Baja
Restricciones	

Tabla 9: Requisito funcional: Cambiar la configuración gráfica.

3.2. Requisitos no funcionales

En esta sección se introducirán todos los requisitos no funcionales definidos para poder recoger la petición del Museo, requisitos que debe cumplir la aplicación para determinar que cumple con los estándares mínimos aceptables.

En los requisitos no funcionales representados en las Tabla 10 y 11, se define la necesidad de tener un dispositivo móvil no muy antiguo con una versión de Android superior a la 10.0 y que tenga al menos una cámara trasera.

Código	RNF-01
Descripción	El dispositivo móvil en el que se encuentre la aplicación debe tener una cámara trasera.

Tabla 10: Requisito no funcional: El dispositivo debe tener una cámara integrada.

Código	RNF-02
Descripción	El dispositivo móvil debe tener una versión de Android superior a la especificada por la tecnología utilizada, Android 10.0 o superior.

Tabla 11: Requisito no funcional: El dispositivo móvil debe cumplir con la versión de Android.

En la Tabla 12 se ha definido la necesidad de que la organización de las vitrinas en el Museo de Informática y las propias piezas de la misma no se vean alteradas. Este requisito no funcional es vital pues la aplicación necesita que el entorno no varíe con el tiempo.

Código	RNF-03
Descripción	La disposición de los elementos dentro de la instalación del Museo no debe alterarse.

Tabla 12: Requisito no funcional: El entorno del Museo no puede cambiar.

En la Tabla 13 se detalla la expectativa relacionada con el tiempo de aprendizaje necesario para familiarizarse con la aplicación. Este requisito establece que la aplicación debe ser fácil de usar para cualquier tipo de usuario, independientemente de su experiencia previa con tecnologías similares.

Código	RNF-04
Descripción	La interfaz debe resultar cómoda e intuitiva para el usuario. Reflejo de esto mismo debería ser que el tiempo de aprendizaje no superase los 10 minutos.

Tabla 13: Requisito no funcional: La interfaz debe ser cómoda e intuitiva.

Con el objetivo de garantizar que la interfaz de la aplicación sea lo más amigable y accesible posible, se ha definido el requisito no funcional descrito en la Tabla 14. Este requisito ha sido diseñado específicamente para optimizar la experiencia del usuario, asegurando que la interacción con la aplicación sea intuitiva, eficiente y agradable.

Código	RNF-05
Descripción	La interfaz debe ser amigable para el usuario y no suponer una mala experiencia.

Tabla 14: Requisito no funcional: La interfaz debe ser amigable para todos los usuarios.

Para proteger la privacidad de los usuarios, se ha definido el requisito no funcional descrito en la Tabla 15. Este requisito establece que la aplicación, al operar en un entorno público, no debe recopilar bajo ningún concepto información personal de los dispositivos móviles en los que está instalada.

Código	RNF-06
Descripción	La aplicación no debe en ningún instante almacenar información obtenida por la cámara, para proteger la integridad de la privacidad de los usuarios.

Tabla 15: Requisito no funcional: La aplicación no debe guardar ningún tipo de información.

Debido a la existencia del requisito funcional RF-08, se ha definido que en todo momento el usuario debe ser capaz de cambiar el idioma de la aplicación sin que sea necesario salir de ella. Este requisito no funcional se puede observar en la Tabla 16.



Código	RNF-07
Descripción	Los usuarios deben poder cambiar el idioma de la aplicación en todo momento.

Tabla 16: Requisito no funcional: El usuario debe poder cambiar el idioma.

Siguiendo con el compromiso de proteger la privacidad de los usuarios, la aplicación no debe recabar ni almacenar ningún tipo de información que pueda obtenerse mediante el uso de los periféricos del dispositivo (Tabla 17). Esto incluye datos provenientes de cámaras, micrófonos, sensores u otros dispositivos integrados en el dispositivo móvil.

Código	RNF-08
Descripción	La aplicación desarrollada no almacenará ningún tipo de información personal a través de los periféricos.

Tabla 17: Requisito no funcional: La aplicación desarrollada no almacenará ningún tipo de información personal a través de los periféricos.

Para mejorar la transparencia de la aplicación con el usuario, esta solo solicitará permisos para utilizar la cámara trasera del dispositivo. Este requisito no funcional está definido en la Tabla 18.

Código	RNF-09
Descripción	La aplicación solicitará únicamente al usuario el permiso de utilizar la cámara trasera del equipo en el que se ejecute la misma.

Tabla 18: Requisito no funcional: La aplicación únicamente usará la cámara mientras esté en ejecución.

Finalmente, la aplicación utilizará la cámara del dispositivo móvil únicamente mientras esté en ejecución. Fuera de esta fase, la aplicación no deberá acceder al periférico en ningún momento. Esta medida, descrita en la Tabla 19, garantiza que el acceso a la cámara sea temporal.

Código	RNF-10
Descripción	La aplicación deberá estar disponible para su uso en el momento en que se abra, nunca demorando más de medio minuto en la fase de arranque.

Tabla 19: Requisito no funcional: La aplicación debe tener un arranque rápido.

3.3. Propuesta

Planteados todos los puntos necesarios y habiendo profundizado en el estado del arte, se procede a desarrollar la solución que ha sido planteada para ayudar al Museo.

3.3.1. Mockups

El primer aspecto a definir en la propuesta es la apariencia que debe tener la aplicación a desarrollar. Para ello, se ha trabajado en la creación de varios diseños preliminares mediante un editor de imágenes, lo que ha permitido establecer diferentes mockups que ilustran con el máximo detalle posible la estructura y funcionalidad de la aplicación.

En cuanto a la primera interfaz, se ha diseñado una pantalla de inicio o menú principal, la cual será lo primero que verá el usuario al acceder a la aplicación desde su dispositivo móvil. Como se muestra en la Figura 9, se ha optado por una interfaz sencilla y fácil de usar, donde inicialmente se presentarán únicamente dos opciones al usuario.



Figura 9: Menú inicial.

La primera opción, representada por un botón central, permite acceder a la parte principal de la aplicación. Al pulsar este botón, se cargará la escena principal de la aplicación y se activará la cámara del dispositivo, de manera que esta solo esté en uso el tiempo estrictamente necesario, optimizando así los recursos y mejorando la eficiencia del sistema.

A continuación, y dentro de la misma escena, será posible modificar todos los aspectos que se deseen cambiar de la aplicación; desde la configuración gráfica, pasando por las diferentes guías y opciones de sonido, hasta la selección del idioma en que se mostrará la aplicación. Todo esto se podrá ajustar en un entorno unificado, facilitando la personalización de la experiencia según las preferencias del usuario (Figura 10).



Figura 10: Opciones dentro del menú inicial.

Una vez que se haya cargado la escena principal de la aplicación, el usuario podrá observar en su pantalla que la cámara se ha activado correctamente y qué nuevos elementos han aparecido en la interfaz. En la esquina superior derecha, se visualizará un pequeño avatar que servirá como guía, acompañando al usuario en un recorrido interactivo por el Museo. Este avatar proporcionará instrucciones y explicaciones para asegurar que la experiencia sea educativa y envolvente (Figura 11).



Figura 11: Escena principal de la aplicación.

De la misma manera que en la escena inicial, también será posible modificar las opciones del sistema durante la ejecución de la aplicación. Esto permitirá al usuario ajustar configuraciones como gráficos, sonido, y otros parámetros en tiempo real, sin necesidad de salir de la aplicación o interrumpir su experiencia (Figura 12).

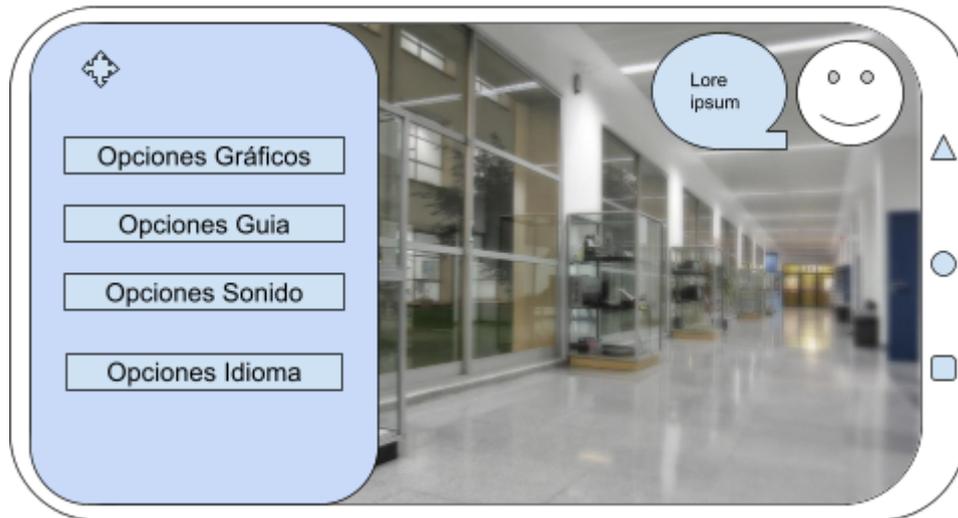


Figura 12: Opciones en tiempo de ejecución.

Una vez se interactúe con alguna de las máquinas de cálculo, se podrá hacer clic en ellas para acceder a información adicional. Como se muestra en la Figura 13, al hacer clic se desplegará un panel con más detalles sobre la máquina de cálculo seleccionada. Este panel no solo expandirá la información disponible, sino que, cuando sea posible, permitirá emular el funcionamiento de la máquina de cálculo en cuestión, ofreciendo una experiencia interactiva que facilita la comprensión y el uso de las herramientas proporcionadas por la aplicación.

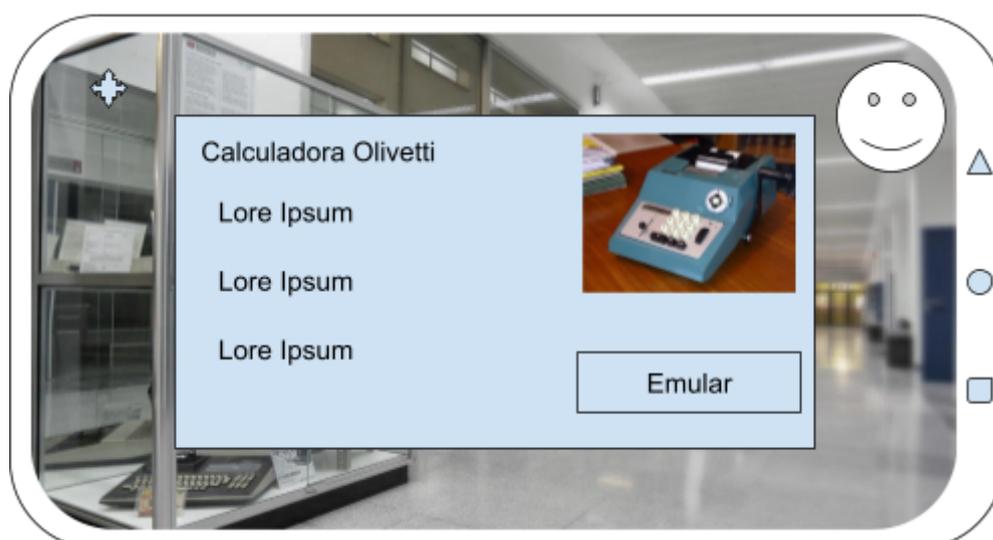


Figura 13: Desplegable para las piezas importantes del Museo.

Si se opta por emular la máquina de cálculo, la aplicación nos trasladará a una escena aislada en la que únicamente podremos interactuar con la misma. Es importante destacar que, en ese mismo instante, la cámara se apagará para garantizar que no interfiera con la experiencia, permitiendo al usuario centrarse exclusivamente en el uso de la máquina de cálculo sin distracciones adicionales (Figura 14).



Figura 14: Escena aislada para la emulación de las piezas.

3.3.2. Experiencia

En cuanto a la experiencia y jugabilidad de la aplicación, es fundamental definir el enfoque principal desde el inicio. Aunque es posible aplicar más de un enfoque simultáneamente, es crucial determinar cuál será el principal, ya que este servirá como eje central alrededor del cual girará todo el desarrollo de la aplicación, asegurando que no se desvíe del objetivo planteado.

Posibles enfoques a considerar:

- **Enfoque como aplicación independiente:** Este enfoque implica que la aplicación funcionará de manera autónoma, proporcionando una experiencia completa y autosuficiente para el usuario sin necesidad de elementos externos.
- **Enfoque como aplicación de apoyo a una guía:** En este caso, la aplicación actuaría como un complemento o herramienta adicional, diseñada para mejorar y enriquecer la experiencia proporcionada por una guía, ofreciendo contenido interactivo, explicaciones adicionales o funciones que complementen la información de la guía principal.

Teniendo en cuenta lo previamente definido, se ha decidido optar por un enfoque en el que la aplicación funcione como un apoyo a una guía pues ofrece una serie de ventajas clave para mejorar la experiencia del usuario.

En este enfoque, la aplicación no solo complementa la información presentada por la guía, sino que también la expande a través de contenido interactivo, proporcionando un valor añadido significativo.

Por ejemplo, mientras la guía ofrece una explicación general sobre un tema o un objeto específico dentro del Museo, la aplicación puede proporcionar detalles adicionales, videos explicativos, o simulaciones interactivas que permitan al usuario profundizar en el contenido de manera dinámica.

Este enfoque también facilita una experiencia más personalizada, ya que el usuario puede explorar las áreas que más le interesan en mayor detalle, sin perder la estructura y el contexto proporcionados por la guía. Al centrar el desarrollo en este enfoque, la aplicación se convierte en una herramienta versátil que enriquece la experiencia educativa y lúdica, haciendo que la interacción con la guía sea más envolvente y eficaz.

3.3.3. Manejo de las escenas y cámara

Es fundamental aprovechar al máximo el manejo de la cámara para optimizar tanto la aplicación como la interacción con las máquinas de cálculo. Dado que el tamaño promedio de las pantallas de los dispositivos móviles actuales ronda las 6 a 6.5 pulgadas, es esencial asegurar que la visualización de las piezas sea lo suficientemente detallada y que el usuario pueda interactuar con ellas de manera efectiva. Para lograrlo, será necesario aislar temporalmente la interacción con otros elementos de la aplicación, garantizando que el foco se mantenga exclusivamente en la máquina de cálculo cuando se requiera.

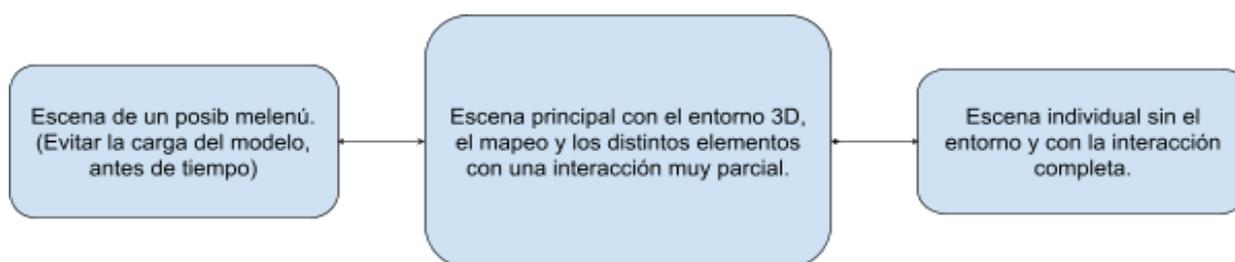


Figura 15: Esquema representativo del manejo de las escenas y la cámara.

Esto implica que se debe tener un control preciso sobre lo que se muestra en pantalla en todo momento, así como un manejo detallado de la escena donde se realiza la interacción. Para lograr ambos objetivos simultáneamente, una propuesta interesante es implementar una escena global que permita a los usuarios desplazarse por el Museo, donde se ubican los diferentes modelos. Cuando un usuario desee interactuar con alguno de estos modelos, será trasladado a una escena

independiente, diseñada específicamente para esa interacción. La Figura 15 ilustra esta propuesta.

3.3.4. Sonido

Las necesidades de sonido estarán directamente relacionadas con la experiencia que se desee ofrecer al usuario final. Como mínimo, independientemente de la versión de la aplicación que se implemente, se deberá garantizar que se escuchen tanto los efectos de sonido característicos de la máquina de cálculo Olivetti como los sonidos de los botones en toda la interfaz. La opción de habilitar o deshabilitar estos sonidos, así como las condiciones bajo las cuales se reproduzcan, quedarán a discreción del usuario, aunque se establecerán configuraciones predeterminadas para mejorar la experiencia.

Por otro lado, para facilitar y hacer más accesible el uso de la aplicación se ha decidido integrar la funcionalidad de Text To Speech (TTS) en la propuesta. Con esta funcionalidad, un guía virtual narrará de manera gradual toda la información relevante, lo que no solo mejorará la accesibilidad de la aplicación, sino que también incrementará su atractivo y utilidad.

La implementación de TTS permitirá ofrecer una experiencia más inmersiva y personalizada. El guía virtual proporcionará descripciones detalladas y explicaciones a medida que el usuario interactúe con la aplicación. Además, se podrán configurar opciones para que la narración avance automáticamente con base en intervalos de tiempo predefinidos, o bien, se podrá activar la narración mediante clics o eventos específicos, según las preferencias del usuario. Esta flexibilidad permitirá adaptar la experiencia a diferentes estilos de aprendizaje y necesidades, asegurando que cada usuario obtenga la información de manera efectiva y conveniente.



4. Implementación del sistema

En este capítulo se abordará la tecnología utilizada en el TFM, incluyendo tanto el software como el hardware. Se describirán detalladamente las fases clave del proyecto: el diseño de la aplicación, el proceso de escaneo del Museo, y finalmente, la arquitectura del sistema.

4.1. Escaneo del Museo

Antes de iniciar la fase de implementación del sistema, fue fundamental realizar un escaneo exhaustivo del Museo de Informática para integrarlo correctamente en la aplicación. Para ello, se empleó un iPad Pro equipado con el sensor LiDAR, que, en combinación con el software Vuforia Area Target Creator⁴, permitió capturar con gran precisión las áreas seleccionadas del Museo.

El proceso de escaneo es sencillo: primero, se debe recorrer lentamente la habitación o la sección del edificio que se desea mapear, observando detenidamente todos los detalles importantes. Una vez finalizado el escaneo dentro de la aplicación, será necesario aceptarlo, aunque previamente se puede verificar su validez utilizando la misma cámara del dispositivo. Finalmente, el escaneo podrá guardarse e importarse a un formato más común para su posterior modificación. La Figura 16 ilustra este proceso.



Figura 16: Ciclo de vida de la aplicación Vuforia Area Target Creator.

⁴ <https://developer.vuforia.com/library/tools/creator-app>

Debido a las limitaciones inherentes a la versión gratuita de Vuforia, fue necesario dividir el Museo en secciones para llevar a cabo el escaneo. Este enfoque se demostró bastante ventajoso, ya que permitió generar mapas más manejables en términos de tamaño, mejorando la legibilidad dentro de la aplicación. Además, trabajar por secciones facilitó la gestión de diversos aspectos técnicos, como la precisión en la detección de elementos y la optimización del rendimiento de la aplicación. Como se muestra en la Figura 17, al dividir las distintas secciones del Museo, se logró obtener un mapa 3D más detallado de sus vitrinas.



Figura 17: Sección del Museo de Informática dedicada a las máquinas de cálculo del fabricante Olivetti.

No obstante, durante el proceso de escaneo surgieron varios desafíos. La iluminación del entorno y la presencia de espejos fueron dos factores que complicaron el proceso. Una iluminación inadecuada podría comprometer la calidad del escaneo y, en consecuencia, la precisión del mapa generado.



Figura 18: Sección del Museo con vitrinas equipadas con un espejo trasero.

Por otro lado, los espejos presentaron un obstáculo considerable. Debido a la manera en que funciona el sensor LiDAR, se produjeron errores en la detección de la profundidad de los objetos situados frente a los espejos, especialmente en las vitrinas. Estos reflejos confundieron al sensor, haciendo difícil crear un mapa preciso de esas áreas, como se puede observar en la Figura 18.

A pesar de los numerosos intentos realizados para resolver este problema, se tomó la decisión de excluir del mapa generado las vitrinas con espejos en su parte trasera. Los reflejos generados por estos espejos dificultan en exceso la captura precisa de la profundidad y la estructura de los objetos, lo que afecta negativamente la calidad de la aplicación. Por lo tanto, se optó por centrar los esfuerzos en las áreas del Museo que podían ser escaneadas con mayor fiabilidad, asegurando así la precisión y funcionalidad del sistema.

4.2. Software de desarrollo

4.2.1. Vuforia

Vuforia⁵ es una de las plataformas más avanzadas y confiables para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada, reconocida ampliamente por su capacidad para detectar y rastrear imágenes u objetos en tiempo real y con gran precisión (Figura 19). Esta tecnología es ampliamente utilizada en diversas industrias, no solo en entretenimiento y juegos, sino también en educación, marketing y automatización industrial.

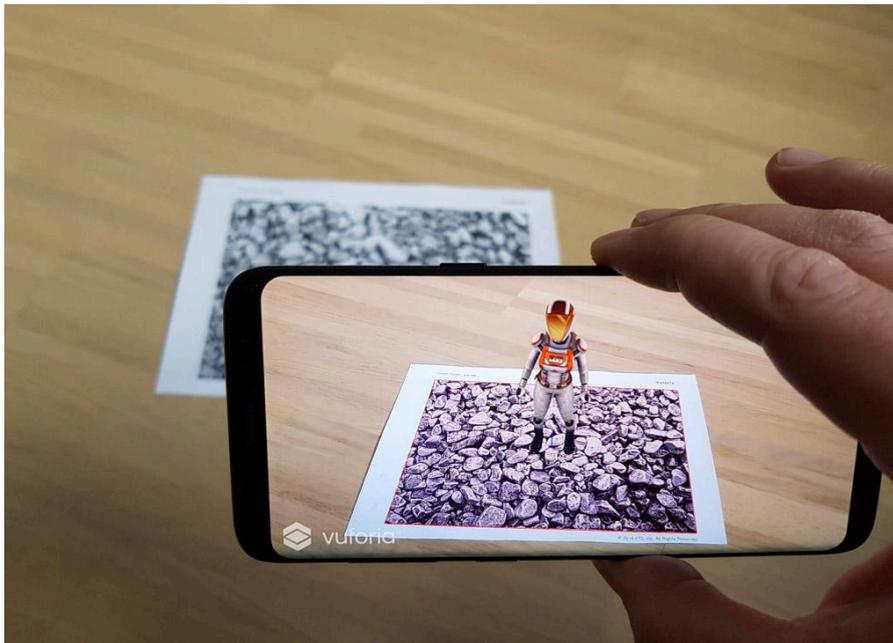


Figura 19: Aplicación de ejemplo basada en Vuforia.

En el TFM, Vuforia ha sido la elección ideal para implementar las funcionalidades de realidad aumentada debido principalmente a su capacidad para integrarse fácilmente con Unity. El cual nos permite aprovechar al máximo las herramientas de ambas plataformas, garantizando una experiencia fluida y robusta.

Con Vuforia, se gestiona la detección y el seguimiento de los elementos en el entorno real, permitiendo que la aplicación superponga contenido digital de manera precisa y efectiva.

⁵ <https://developer.vuforia.com/home>

4.2.2. Unity

Unity⁶ es un entorno de desarrollo ampliamente reconocido en el mercado, especialmente en la creación de videojuegos 3D y 2D. Su versatilidad y potente motor lo convierten en una de las opciones predilectas para desarrolladores que buscan crear experiencias interactivas de alta calidad y que cuentan con un gran apoyo por parte de la comunidad.

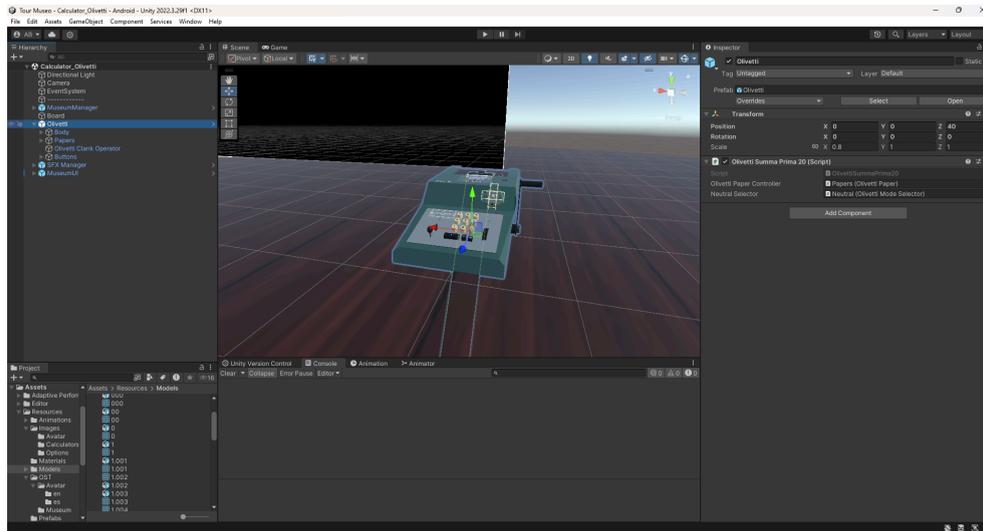


Figura 20: Escena Calculator_Olivetti en el entorno Unity del proyecto.

En este caso, dado que se está desarrollando una aplicación de realidad aumentada basada en la plataforma Vuforia, se ha decidido que la mejor integración de software se logra mediante Unity. Este entorno no solo ofrece una integración fluida con Vuforia, sino que también proporciona las herramientas necesarias para gestionar todos los aspectos de la aplicación de realidad aumentada (Figura 19).

⁶<https://unity.com/es>

4.2.3. Blender

Blender⁷ es una potente herramienta de código abierto ampliamente utilizada en la industria para la creación de gráficos y animaciones en 3D. Con su amplia gama de funcionalidades, que incluyen modelado, texturizado, rigging, simulaciones y renderizado entre otros, Blender se ha convertido en una opción sólida para el mundo del diseño 3D.

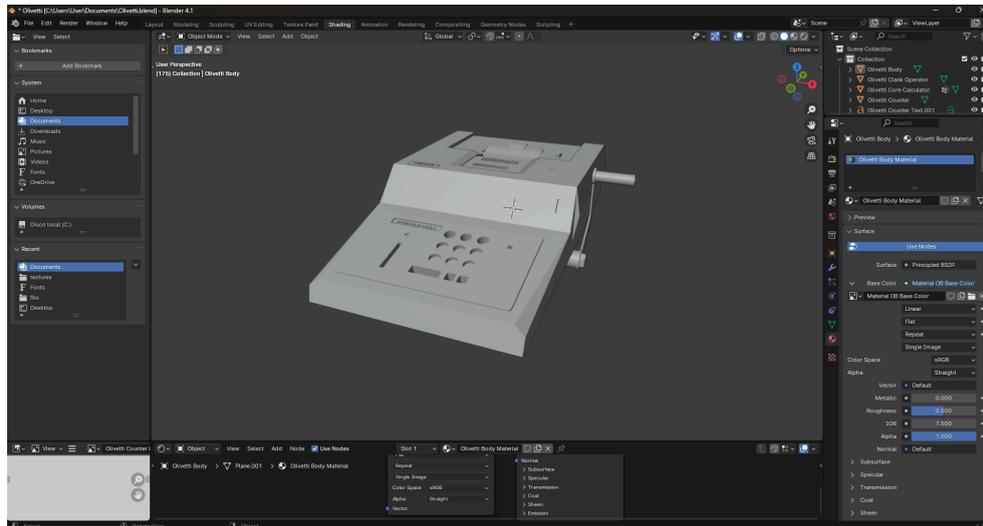


Figura 21: Modelo 3D generado para la Olivetti Summa Prima 20 en Blender.

En el TFM, Blender ha sido fundamental para la creación y manipulación de los modelos 3D que se integrarán en la aplicación del Museo. Se está hablando por tanto de la generación y construcción del modelo 3D asociado a la Olivetti Summa Prima 20, como se puede observar en la Figura 21.

Gracias a su compatibilidad con el formato de archivo FBX y su capacidad para exportarlo con un alto nivel de detalle, nos ha permitido diseñar elementos que se integran perfectamente en el entorno de Unity.

Con Blender, se puede controlar cada aspecto del diseño 3D, desde la creación inicial de los modelos hasta la aplicación de texturas, asegurando que cada elemento visual de la aplicación se aproxime al máximo a la realidad.

⁷ <https://www.blender.org/>



4.2.4. Visual Studio Code

Visual Studio Code⁸ es un editor de código fuente, que ha ganado popularidad entre desarrolladores de todo el mundo por su flexibilidad y amplio conjunto de plugins que ofrece su tienda. Aspectos que se adaptan a las necesidades de cualquier proyecto, desde pequeños scripts hasta aplicaciones complejas (Figura 22).

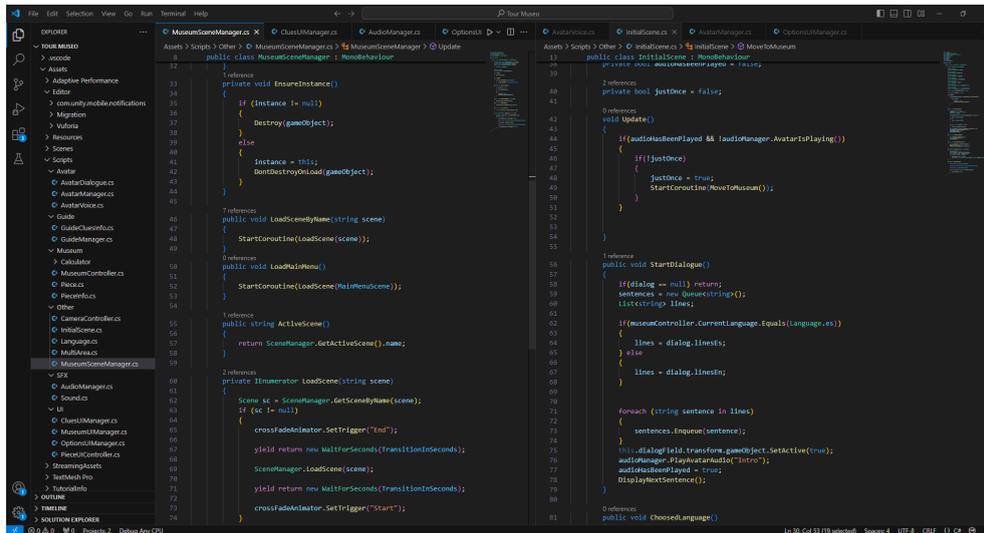


Figura 22: Scripts siendo editados en Visual Studio Code.

En la aplicación, Visual Studio Code ha sido la herramienta elegida para escribir y editar el código que impulsa la lógica de la aplicación. Su integración con sistemas de control de versiones como Git, junto con características como el resaltado de sintaxis y los distintos plugins asociados a Unity, nos ha permitido mantener un flujo de trabajo organizado.

4.2.5. Area Target Generator

Vuforia Area Target Generator⁹ es una herramienta especializada en la optimización y refinamiento de mapas 3D para realidad aumentada. Dicha herramienta es necesaria para generar los distintos mapas 3D que se utilizan dentro de las aplicaciones.

Esta herramienta es esencial para perfeccionar los modelos, permitiendo la corrección de imperfecciones y errores e incluso la eliminación de fragmentos innecesarios que podrían afectar al rendimiento de la aplicación.

⁸ <https://code.visualstudio.com/>

⁹ <https://developer.vuforia.com/library/creating-area-targets/area-target-generator-user-guide>



Figura 23: Mapa 3D dentro de Vuforia Area Target Generator.

Se ha utilizado Vuforia Area Target Generator para mejorar significativamente los modelos capturados inicialmente durante la fase de escaneo del Museo (Figura 23). A través de este proceso, se ha podido depurar los datos, eliminar elementos superfluos, y ajustar los detalles del modelo para asegurar una integración más fluida y precisa en la aplicación de realidad aumentada.

4.2.6. Amazon Polly

Amazon Polly¹⁰ es un servicio de conversión de texto a voz que utiliza tecnologías avanzadas de síntesis de voz para generar audios de una calidad aceptable en múltiples idiomas. Esta herramienta es ideal para aplicaciones que requieren narraciones automatizadas o asistentes de voz, ya que ofrece una amplia variedad de voces y acentos que pueden ser ajustados según las necesidades del proyecto (Figura 24).

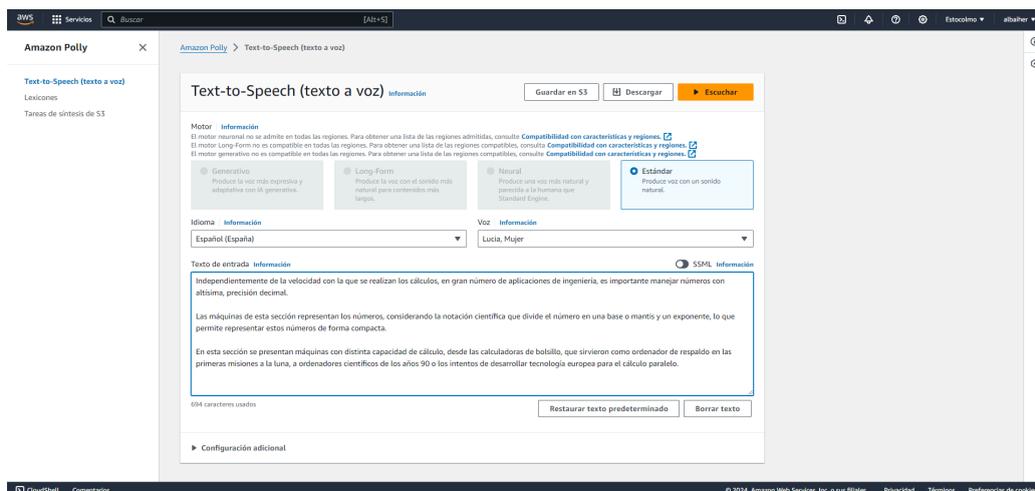


Figura 24: Pantalla principal de Amazon Polly.

¹⁰ <https://aws.amazon.com/es/polly/>



Se ha utilizado Amazon Polly para generar los audios que acompañan la guía turística del Museo. Estos audios se reproducirán cuando los usuarios interactúen con la aplicación, proporcionando una experiencia auditiva inmersiva para los visitantes. Amazon Polly también permitirá crear dos versiones de las mismas pistas de audio, una en español y otra en inglés, asegurando que la información esté accesible para un público más amplio.

4.3. Diseño del sistema

En este capítulo se expone la implementación completa de la solución propuesta para la aplicación de realidad aumentada del Museo de Informática.

4.3.1. Interfaz de la aplicación

Para el desarrollo de la interfaz de usuario, decidimos utilizar prefabs en Unity. Un prefab es un objeto especial dentro del entorno de desarrollo que permite instanciar un mismo diseño en diferentes escenas de la aplicación, manteniendo una estructura coherente y uniforme en todas ellas. Además, los prefabs facilitan la modificación y actualización del diseño sin necesidad de intervenir directamente en cada escena individualmente.

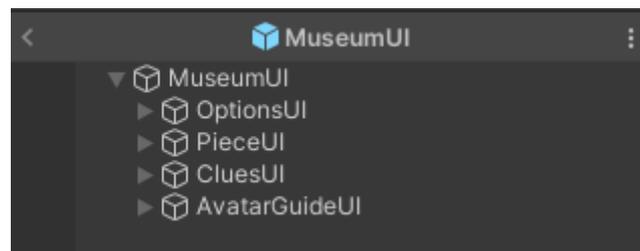


Figura 25: Estructura de la interfaz del Museo en Unity.

Una vez definido como prefab, se organizó la interfaz dividiéndola en los componentes más importantes, que incluyen las opciones, la información de las piezas del Museo, las pistas y el avatar del Museo. Cada uno de estos componentes tiene asociado su propio script, lo que permite que funcionen de manera independiente sin depender de otros scripts para operar correctamente. Esta separación asegura que los cambios en una parte de la interfaz no afecten a los demás componentes, manteniendo la integridad y estabilidad del sistema. Esta estructura se puede observar en la Figura 25.

Adicionalmente, se implementó un manejador específico para gestionar las peticiones de modificación de la interfaz. Este manejador coordina las acciones entre los diferentes componentes, asegurando que las actualizaciones se realicen de manera ordenada y eficiente. Por ejemplo, cuando un usuario accede a una nueva pieza del Museo, el manejador llama al script `MuseumUIManager` para actualizar la información correspondiente en el componente

PieceUIController. Esta arquitectura ayuda a evitar la propagación de dependencias entre los distintos componentes de la aplicación, facilitando así el mantenimiento y la escalabilidad del sistema.

El primer componente clave en la interfaz es el OptionsUIManager, diseñado para gestionar aspectos cruciales como la calidad gráfica y el idioma de la aplicación. Este script centraliza el control de estas opciones, lo que permite que un solo componente administre ambos conceptos de manera eficiente y coherente. Al concentrar la responsabilidad en OptionsUIManager, se simplifica la modificación y actualización de la configuración de la aplicación, evitando la necesidad de ajustes en múltiples lugares (Figura 26).

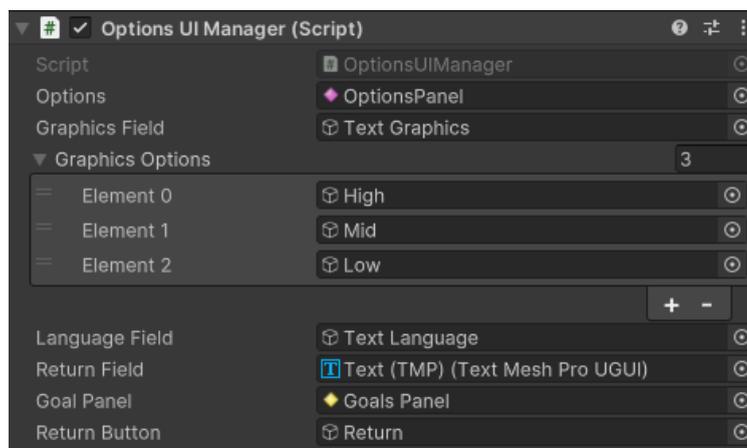


Figura 26: Script OptionsUIManager en el inspector de Unity.

Además de su función principal, el script mantiene una referencia al panel de objetivos, lo que le permite integrar funcionalidades adicionales. Un ejemplo de esto es la implementación de un nuevo botón durante la emulación de la máquina de cálculo Olivetti, el cual facilita la salida de la emulación. Esta integración asegura que la interfaz responda de manera dinámica a las acciones del usuario. Se puede observar en la Figura 27 el resultado final de la interfaz de opciones.



Figura 27: Interfaz de las opciones en la aplicación.

Otro aspecto en el diseño de la interfaz es la gestión de la información adicional sobre cada pieza del Museo, que es manejada por el script PieceUIController. Este script se encarga de garantizar que la información relevante para cada máquina de cálculo o vitrina se muestre correctamente dentro de la aplicación, proporcionando esa extra de información a los usuarios (Figura 28).

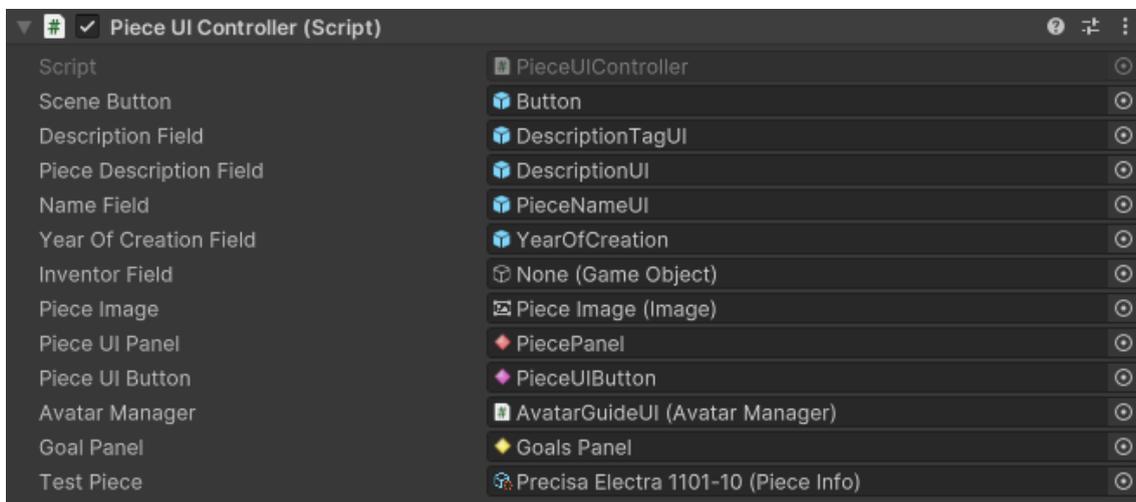


Figura 28: Script PieceUIController en el inspector de Unity.

Para optimizar el desarrollo y la gestión de la información, se utilizan ScriptableObjects. Estos objetos, que se pueden instanciar en Unity, funcionan como pequeñas bases de datos, facilitando el almacenamiento y la recuperación de datos esenciales. Gracias a esta característica de Unity, se ha podido acelerar significativamente el proceso de desarrollo, permitiendo que la interfaz

consulte y ejecute información de manera eficiente a través del MuseumUIManager, el cual coordina la integración de datos desde múltiples fuentes.

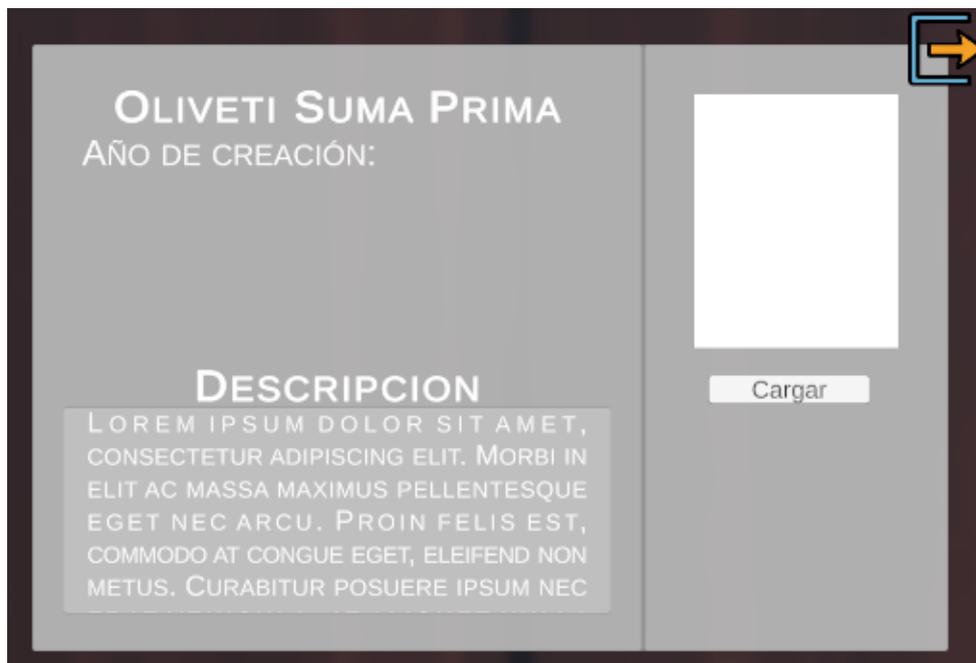


Figura 29: Interfaz base con la información por defecto de PieceUIController.

La información actualmente presentada incluye una breve descripción de cada pieza, una imagen de archivo, la fecha de creación y el nombre del objeto (Figura 29). Además, si una máquina de cálculo está disponible para emulación, el script PieceUIController activa y muestra un botón específico que permite a los usuarios interactuar directamente con la pieza, comprobando su funcionamiento en tiempo real.

La interfaz se amplió para incluir una sección dedicada a la guía del Museo, específicamente orientada a la emulación de las piezas del Museo. Este segmento de la interfaz tiene como objetivo proporcionar toda la información necesaria para comprender el funcionamiento de las piezas, actuando como un tutorial interactivo que guía a los usuarios a través del proceso de emulación.

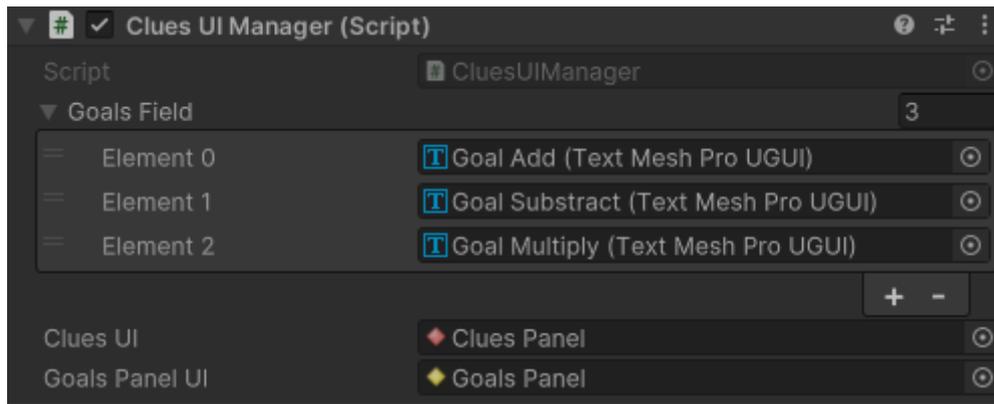


Figura 30: Script CluesUIManager en el inspector de Unity.

En esta sección, gracias al script CluesUIManager, se presentan los distintos objetivos que los usuarios deben controlar para dominar los aspectos básicos de cada máquina de cálculo (Figura 30). Estos objetivos están claramente enumerados y organizados para facilitar su seguimiento. Justo debajo de la lista de objetivos, se encuentra un botón de ayuda que abre un panel más extenso con información detallada. Se puede observar su versión final en la Figura 31.

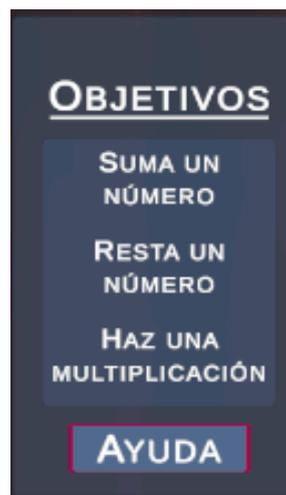


Figura 31: Interfaz de objetivos en la aplicación.

El panel de ayuda permite a los usuarios navegar entre varias pestañas, cada una dedicada a un objetivo específico. Dentro de cada pestaña, se ofrece una breve explicación sobre los aspectos clave que deben comprenderse para realizar las operaciones correctas. Además, se incluye un ejemplo guiado que ilustra paso a paso cómo llevar a cabo las operaciones, proporcionando una comprensión más profunda y práctica del funcionamiento de las piezas del Museo. Esta funcionalidad no solo facilita el aprendizaje, sino que también mejora la interacción del usuario con las piezas emuladas, asegurando una experiencia educativa y envolvente. En la Figura 32 se puede observar la pestaña asociada a la suma dentro de la Olivetti Summa Prima 20.

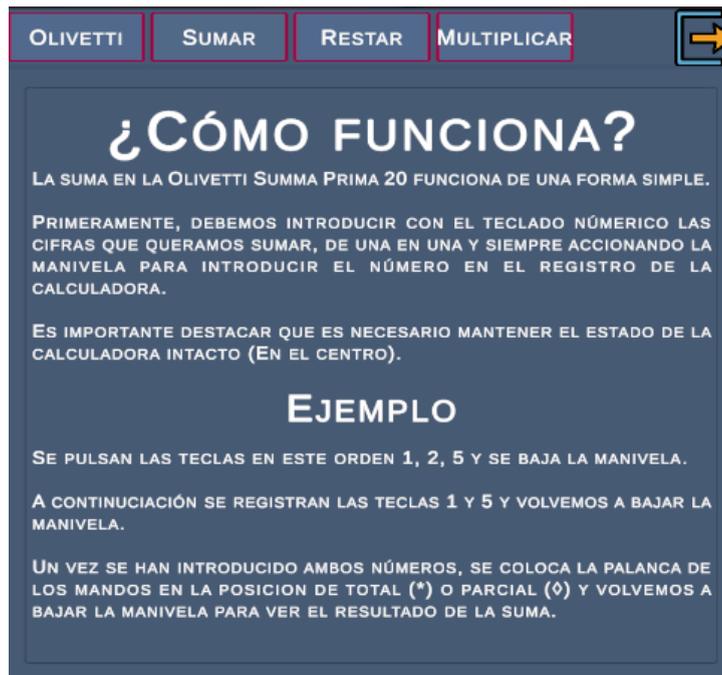


Figura 32: Interfaz de pistas en la aplicación.

Finalmente se expandió la interfaz con el objetivo de incluir dentro de ella la presencia de un avatar personalizado para el Museo. En esta parte de la misma lo único que se buscó fue precisamente evitar que la experiencia fuese demasiado monótona y rígida. Se puede observar la versión final de la interfaz en la Figura 33.

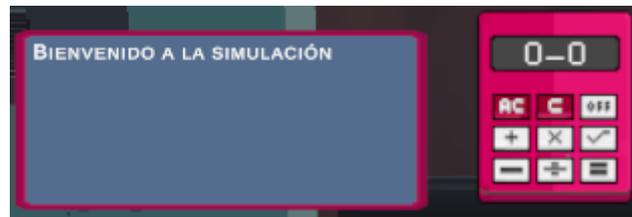


Figura 33: Interfaz del Avatar en la aplicación.

4.3.2. MultiArea Target

En el proceso de desarrollo e integración de los mapas generados mediante las aplicaciones de Vuforia, es crucial utilizar el componente conocido como Area Target. Cada target es una representación 3D estática del entorno escaneado y que mediante la cámara de RA proporcionada por el paquete de Vuforia, son reconocidos activando con ello los elementos asociados dentro de los objetos (Figura 34).

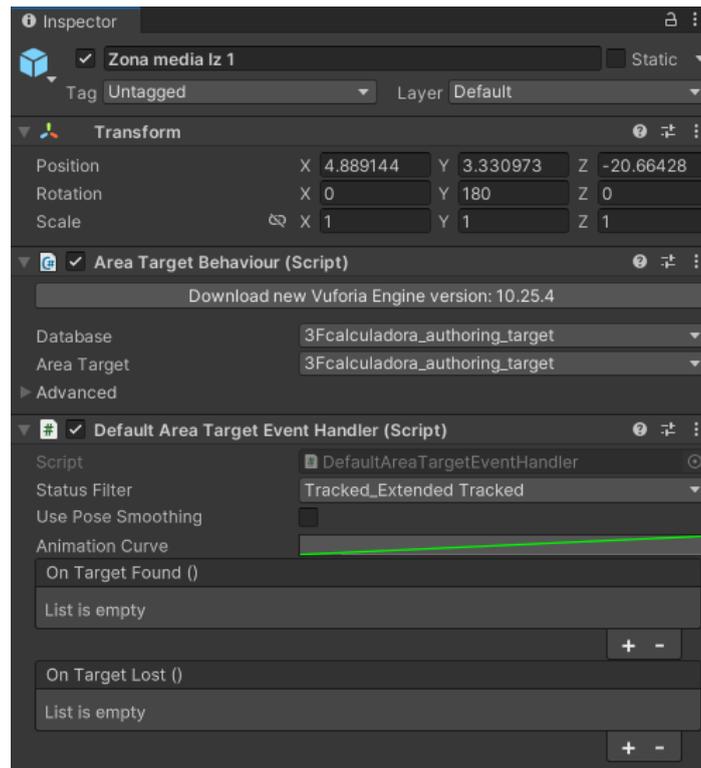


Figura 34: Area target en el inspector de Unity.

Una vez que es activado, el sistema reposiciona dicha área para alinearla con la orientación de la cámara, asegurando que la posición y orientación de los objetos sean coherentes con la realidad visualizada a través de la cámara del dispositivo. En situaciones donde se utiliza un único area target para toda la instancia, el desarrollo se completa sin problemas, ya que Vuforia maneja eficazmente estos casos.

Sin embargo, cuando se incluyen múltiples mapas en una misma escena, surgen problemas debido a la forma en que el sistema maneja los desplazamientos y la orientación de los elementos, lo que puede llevar a movimientos imprecisos o desalineaciones.

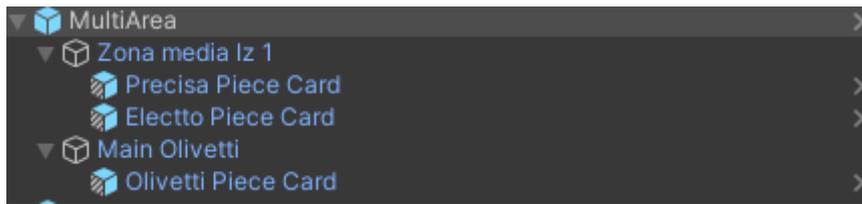


Figura 35: Prefab MultiArea utilizado en la aplicación.

Para abordar estos problemas, se emplea el plugin interno de Vuforia llamado MultiArea. Este script permite que todos los mapas generados actúen y se muevan de manera sincronizada como un único conjunto (Figura 35). De esta forma, tanto la cámara como la aplicación pueden mantener una alineación precisa en todo momento, evitando alteraciones en la posición de los objetos. En la Figura 36 se puede observar cómo el script asigna cada Area Target que contiene el objeto dentro de Unity, permitiendo modificar su posición en tiempo de ejecución.

```

void Start()
{
    var areaTargets = GetComponentsInChildren<AreaTargetBehaviour>(includeInactive: true);
    foreach (var at in areaTargets)
    {
        // Remember the relative pose of each AT to the group root node
        var matrix = GetFromToMatrix(at.transform, transform);
        mPoses[at.TargetName] = matrix;
        Debug.Log("Original pose: " + at.TargetName + "\n" + matrix.ToString());

        // Detach augmentation and re-parent it under the group root node
        for (int i = at.transform.childCount - 1; i >= 0; i--)
        {
            var child = at.transform.GetChild(i);
            child.SetParent(transform, worldPositionStays: true);
        }

        if (hideAugmentationsWhenNotTracked)
        {
            ShowAugmentations(false);
        }
    }
}

```

Figura 36: Fragmento de código del script MultiArea.

Debido a que se ha optado por fragmentar el Museo en varios mapas más pequeños, se ha requerido la implementación de esta solución. No obstante, la solución desarrollada en MultiArea no es completamente perfecta. Al modificar la posición de todos los mapas de manera simultánea, es esencial que cada área esté conectada físicamente en Unity. No pueden estar separados sin un fragmento de mapa que los conecte o se superponga. Un ejemplo claro es el pequeño recoveco que separa las vitrinas en el Museo: si este hueco no está representado en el mapa o hay un pequeño vacío en Unity, los objetos pueden desplazarse erráticamente, y la interacción con ellos puede volverse extremadamente difícil o incluso imposible. Esta necesidad se puede observar en la Figura 37.

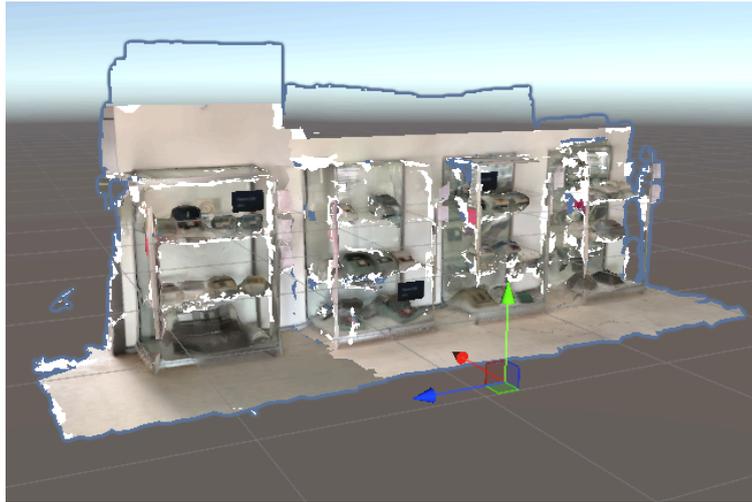


Figura 37: Mapas generados dentro del MultiArea en la escena de Unity.

4.3.3. Sistema de información de las piezas del Museo

Para el desarrollo del sistema, se ha decidido estructurar todo en torno a la creación y mantenimiento de ScriptableObjects. Como se mencionó previamente, estos objetos son ideales para almacenar información estática que, aunque técnicamente puede modificarse durante la ejecución, generalmente se prevé que permanezca inalterada. Esta característica los hace perfectos para gestionar datos que necesitan ser consistentes a lo largo de la aplicación.

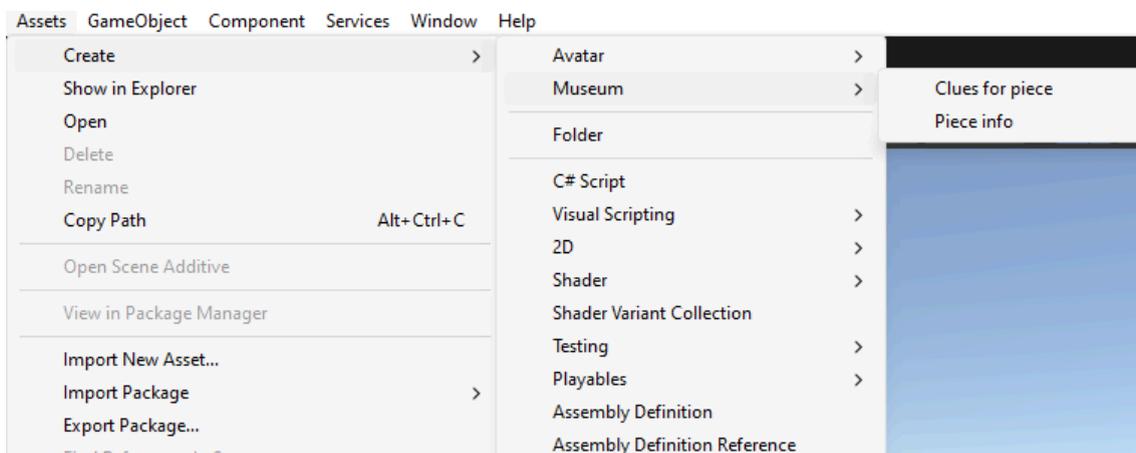


Figura 38: Menú dentro de Unity mostrando los nuevos Assets del proyecto.

En este caso, se ha utilizado ScriptableObjects del tipo PieceInfo para representar toda la información esencial que se quiere incluir en la guía del Museo (Figura 39). Cada pieza que se desea detallar tiene un ScriptableObject asociado, que contiene atributos clave como el nombre de la pieza, el año de invención, una descripción en español e inglés, una imagen de archivo y, en algunos casos, una escena adicional.

```

namespace Museum
{
    [CreateAssetMenu(fileName = "Museum piece", menuName = "Museum/Piece info", order = 1)]
    7 references
    public class PieceInfo : ScriptableObject
    {
        4 references
        public string pieceName;
        1 reference
        public int yearOfCreation;
        [TextArea(3,10)]
        1 reference
        public string descriptionEs;
        [TextArea(3,10)]
        1 reference
        public string descriptionEn;
        2 references
        public Sprite image;
        6 references
        public string scene;
    }
}

```

Figura 39: ScriptableObject asociado a la información de la pieza del Museo.

Este enfoque permite desacoplar rápidamente la información del objeto al que está relacionado dentro de Unity y sus scripts correspondientes. De esta manera, se pueden crear y editar estos objetos directamente desde el inspector de Unity, sin necesidad de vincularlos a un script externo específico. Esto facilita enormemente el acceso a la información por parte de cualquier script en la aplicación, permitiendo un flujo de trabajo más eficiente y organizado. Todo esto se puede observar en la Figura 40.

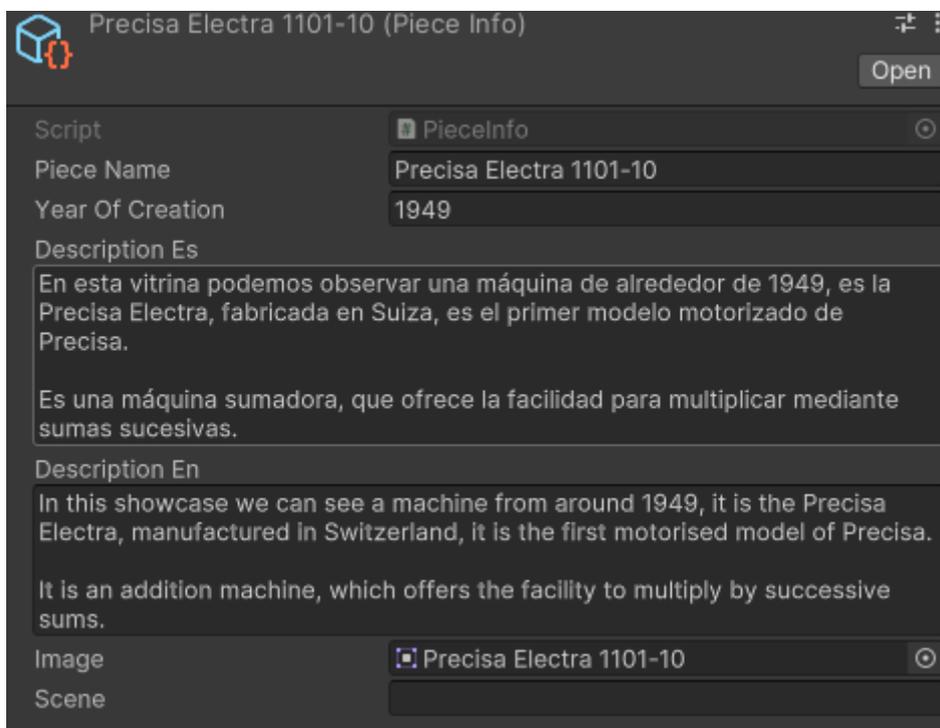


Figura 40: ScriptableObject en el inspector de Unity.

Una vez generados estos ScriptableObjects, el siguiente paso es otorgarles una representación física dentro de la aplicación. Para ello, se ha optado por crear pequeñas tarjetas de memoria que los usuarios pueden seleccionar (Figura 41). Al interactuar con estas tarjetas, la interfaz de usuario muestra la información relevante asociada con cada pieza del Museo. Este diseño no solo mejora la accesibilidad a los datos, sino que también ofrece una experiencia de usuario más interactiva y visualmente atractiva.

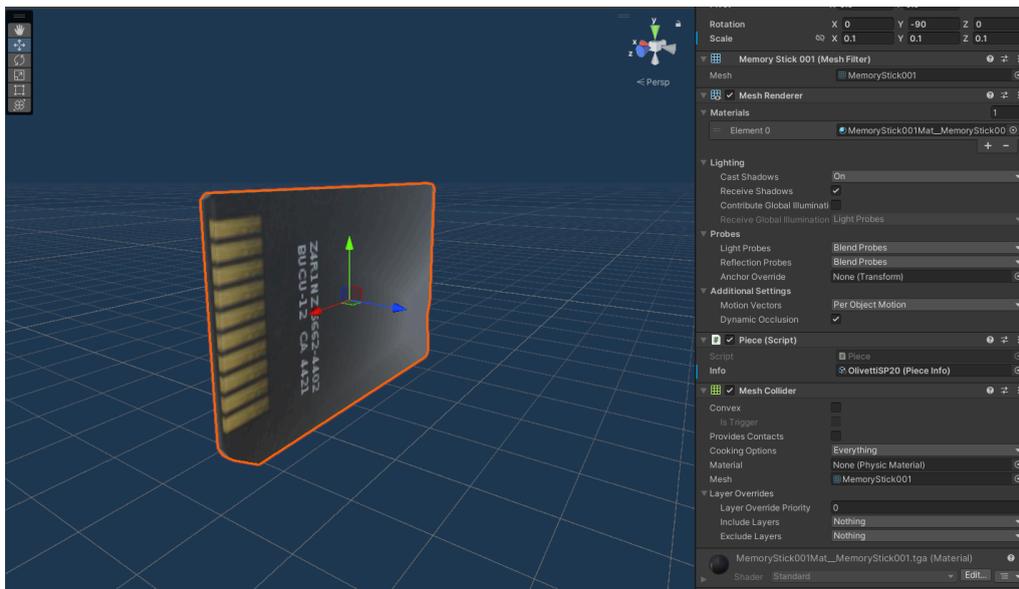


Figura 41: Variación del prefab Museum Piece Card para la Olivetti.

4.3.4. Olivetti Summa Prima 20

En lo que respecta a la simulación de la Olivetti Summa Prima 20, se ha seguido un enfoque que refleja fielmente la estructura y funcionamiento de la máquina original. Se ha desarrollado un script principal que centraliza la gestión de todos los aspectos fundamentales de la máquina de cálculo (Figura 42), mientras que los componentes adicionales solo manejan funciones específicas y esenciales.

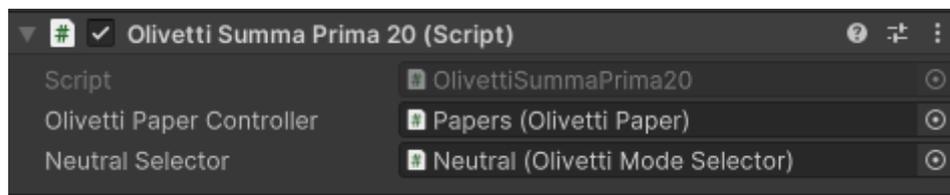


Figura 42: Script OlivettiSummaPrima20 en el inspector de Unity.

Este enfoque permite concentrar la lógica crucial de la simulación en un único script, facilitando su depuración y mantenimiento. El script principal, denominado OlivettiSummaPrima20, que

hereda del script base Calculator, es responsable de ejecutar las operaciones matemáticas, gestionar el estado de la máquina de cálculo, almacenar los números ingresados y delegar la impresión de los resultados en el papel. Todas estas operaciones se controlan mediante funciones troncales centralizadas en este script, asegurando una cohesión y simplicidad en la simulación. Una de estas funciones se puede observar en la Figura 43.

```
public void PushPlank()
{
    if(olivettiMode.Equals(OlivettiSummaPrima20Mode.neutral))
    {
        if(Mode.Equals(CalculatorMode.Multiply))
        {
            Multiply();
        } else if(Mode.Equals(CalculatorMode.Add))
        {
            Add();
        }
    } else if(olivettiMode.Equals(OlivettiSummaPrima20Mode.total))
    {
        partialNumber = 0;
        numberRegistered = 0;
        ShowTotalResult();
        this.neutralSelector.ChangeMode();
    } else if(olivettiMode.Equals(OlivettiSummaPrima20Mode.partial))
    {
        ShowPartialResult();
    } else if(olivettiMode.Equals(OlivettiSummaPrima20Mode.negative))
    {
        Substraction();
        this.neutralSelector.ChangeMode();
    } else if(olivettiMode.Equals(OlivettiSummaPrima20Mode.noAdd))
    {
        this.ShowRegisterdNumber();
        numberRegistered = 0;
    }
}
```

Figura 43: Método PushPlank asociado al script OlivettiSummaPrima20.

Los demás scripts en la simulación tienen roles más especializados y limitados. Por ejemplo, el script asociado a los botones numéricos solo reconoce que puede ser presionado y, al ser activado, registra el número correspondiente en la Olivetti. De manera similar, el script que controla la palanca de acción solo entiende que puede ser pulsado y, cuando esto ocurre, actúa para introducir los números en el acumulador de la Olivetti (Figura 44).

```

void Update()
{
    olivetti = OlivettiSummaPrima20.Instance;
    if(audioManager == null)
    {
        audioManager = AudioManager.Instance;
    }
    lastPushTime += 1f * Time.deltaTime;

    if(ImBeingTouched() && CanPush())
    {
        lastPushTime = 0f;
        Push();
    }
}

1 reference
public void Push()
{
    animator.SetTrigger("Push");
    audioManager.PlaySFXAudio("ButtonOlivetti");
    this.olivetti.SetRegistered(number, exp);
}

```

Figura 44: Método Update y Push asociado al script OlivettiSummaNumberButton.

Una excepción notable a este patrón es el script encargado de la impresión de los datos en el papel de la máquina de cálculo, denominado OlivettiPaper. Dado que la impresión de resultados involucra elementos de la interfaz de usuario de la aplicación. Haciendo así que la lógica que maneja las diversas formas en que se muestran los resultados está separada de la lógica interna de la Olivetti. El script es capaz de imprimir correctamente los resultados en el papel siempre que reciba los valores necesarios, manteniendo así la interfaz de la aplicación y la simulación de la máquina de cálculo en sincronía sin comprometer a ninguno de los dos.

Para que sea capaz de escribir correctamente el número en pantalla, se ha decidido implementar un sistema que divide el papel de la máquina de cálculo en dos campos de texto. Estos campos representan diferentes aspectos de la operación: uno muestra el número introducido y el otro indica el modo actual de la Olivetti mediante un carácter especial y si la operación que se está realizando es una multiplicación o una resta. En la Figura 45 se puede observar el comportamiento.



Figura 45: Simulación de la Olivetti Summa Prima 20 en Unity.

Además, para replicar el comportamiento real de la Olivetti, el papel se desplaza con cada acción de la palanca, simulando el movimiento físico del papel a medida que se registran los cálculos. Este efecto se logra moviendo todos los componentes relacionados con el papel, es decir, el propio objeto físico del papel y los dos campos de texto que lo componen. Esto no solo mantiene la fidelidad al funcionamiento original de la máquina de cálculo, sino que también mejora la inmersión del usuario en la simulación.

En cuanto a la gestión de la Olivetti Summa Prima 20 dentro de Unity, se ha optado por una estructuración que refleja fielmente la naturaleza modular de los scripts previamente definidos. Se ha creado un prefab que incluye, de manera separada, todos los componentes esenciales de la máquina de cálculo: el objeto físico principal, el papel, la palanca y los diversos botones que forman parte de su interfaz. En la Figura 46 se puede observar dicha estructura.

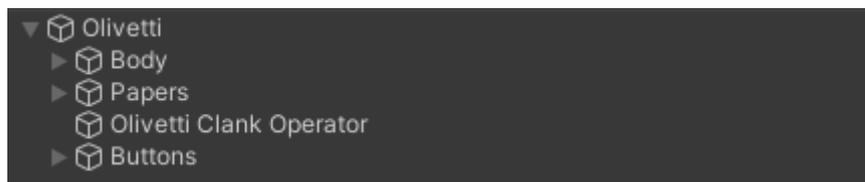


Figura 46: Prefab asociado a la Olivetti Summa Prima 20.

Esta organización no solo facilita el seguimiento y la manipulación de cada elemento durante el desarrollo, sino que también simplifica la depuración. Al mantener los componentes bien organizados y separados, es más sencillo identificar y corregir cualquier error que pueda surgir al crear la apk (Android Application Package). Este enfoque modular también permite realizar ajustes específicos a cada parte de la Olivetti sin afectar el funcionamiento general.

4.3.5. Sistema de sonido

En cuanto al sistema de sonido que acompaña tanto al avatar de la aplicación como a la simulación de las máquinas de cálculo, se ha adoptado un enfoque minimalista y simplificado para la implementación del Audio Manager. La estructura del script se basa en la idea de gestionar varias fuentes de sonido que pueden ser activadas simultáneamente, cada una representando diferentes tipos de audio que deseamos escuchar en conjunto (Figura 47).



Figura 47: Prefab asociado al sistema de sonido en la aplicación.

Con esta premisa, la aplicación se ha diseñado con tres canales de audio distintos: el primero maneja los sonidos propios de la Olivetti, que se ejecutan de manera independiente; el segundo gestiona sonidos que necesitan repetirse rápidamente; y el tercero está dedicado a la voz del avatar. En la Figura 48 se puede observar cada uno de los canales de audio y las distintas pistas de audio.

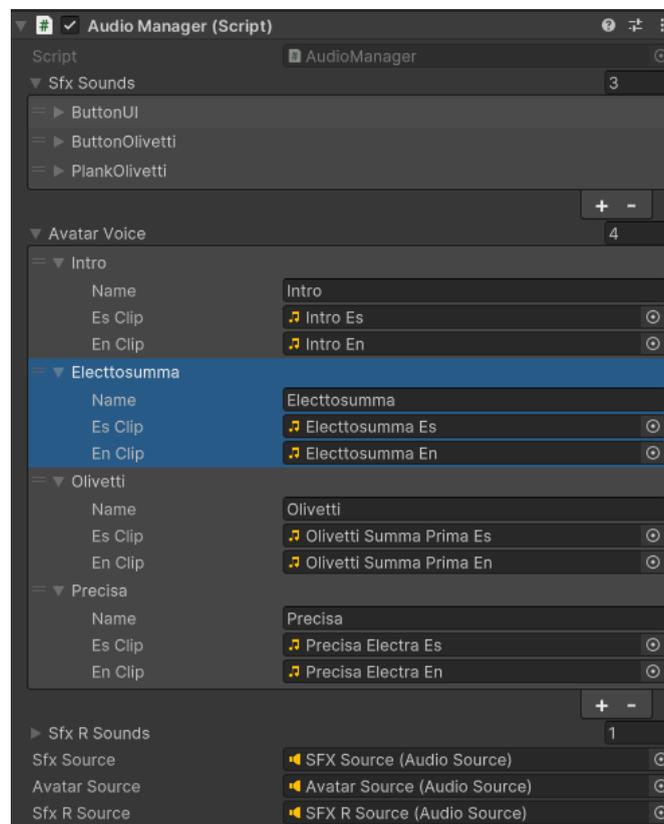


Figura 48: AudioManager implementado dentro del inspector de Unity.

Para organizar estos canales de manera eficiente, dentro del script AudioManager, las diferentes pistas de audio se agrupan en listas, cada una correspondiente a un tipo específico de sonido. Para manejar la posibilidad de que existan múltiples pistas de audio para un mismo evento, se ha creado la clase serializable Sound (Figura 49). Una clase serializable en Unity permite que sus instancias se puedan modificar y configurar directamente desde el editor, facilitando así el ajuste y personalización del sonido sin necesidad de cambiar el código.

```
[System.Serializable]
3 references
public class Sound
{
    1 reference
    public string name;
    1 reference
    public AudioClip esClip;
    1 reference
    public AudioClip enClip;
}
```

Figura 49: Clase serializable Sound.

Gracias a ello, se puede más tarde unificar todo lo relativo a la ejecución de sonidos, pues lo único que es necesario saber a la hora de ejecutar una pista de audio es su nombre, la posible lista de sonidos a la que pertenece y la fuente por la que se quiere transmitir el sonido. En la Figura 50 se puede observar como el manejador gestiona el inicio de una pista de audio.

```
private void PlayAudio(string name, List<Sound> list, AudioSource source)
{
    Sound s = list.Find(x => x.name == name);

    if( s == null) return;

    if (museumController.CurrentLanguage.Equals(Language.es))
    {
        source.clip = s.esClip;
    } else if (museumController.CurrentLanguage.Equals(Language.en))
    {
        source.clip = s.enClip;
    } else
    {
        return;
    }

    source.Play();
}
```

Figura 50: Método PlayAudio en el script AudioManager.

Este diseño asegura que cada aspecto sonoro de la aplicación esté bien gestionado, permitiendo una experiencia auditiva fiel con lo esperado manteniendo la simplicidad y eficiencia en la implementación.

4.3.6. Avatar

El último aspecto desarrollado en el TFM fue la creación de un Avatar que actúa como guía para la experiencia interactiva. Se optó por diseñar una pequeña máquina de cálculo en estilo pixel art, utilizando los colores representativos de la universidad, y se le dotó de pequeñas animaciones para darle un toque de dinamismo y personalidad (Figura 51).



Figura 51: Secuencia de imágenes pertenecientes a la animación del Avatar.

Para permitir que el avatar "hable", se implementó un sistema de diálogos que carga los mensajes necesarios en español o inglés y los muestra en una pequeña nube de texto junto al avatar. Este sistema está diseñado para ser flexible: si el usuario cambia el idioma mientras el avatar está hablando, el diálogo continuará en el idioma correcto sin interrupciones. En la Figura 52 se puede observar uno de los diálogos que se utiliza durante la ejecución de la aplicación.

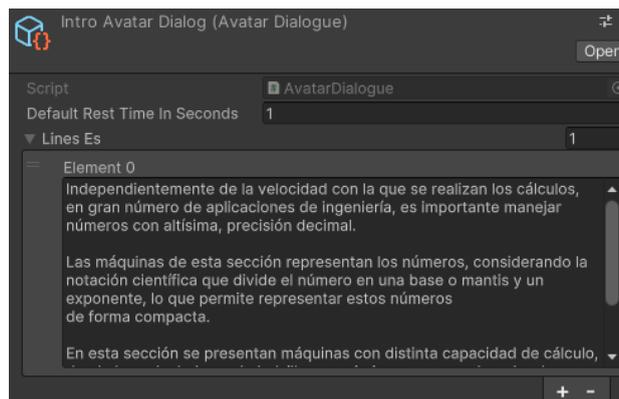


Figura 52: ScriptableObject asociado al diálogo inicial en el inspector de Unity..

El resultado es un avatar que no solo aporta información útil, sino que también enriquece la experiencia del usuario, haciéndola más atractiva y personalizada, todo mientras mantiene una coherencia visual con el resto de la aplicación. En la Figura 53 se puede observar el resultado final del Avatar.

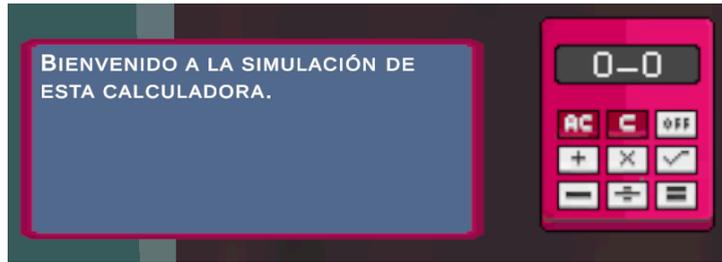


Figura 53: Avatar mostrando la primera frase de un diálogo.

5. Estudio y resultados

En este capítulo se evaluará la aplicación de RA desarrollada para el Museo de Informática. Se podrá observar el estudio realizado, los resultados obtenidos y la valoración de los mismos.

5.1. Participantes

En el estudio participaron 10 usuarios, de los cuales 2 eran mujeres y 8 hombres, con edades que oscilan entre los 24 y los 63 años.

5.2. Medidas

Para evaluar la aceptación de la aplicación, se utilizó un cuestionario de presencia (Regenbrecht & Schubert, 2002) (denominadas PA1 a PA8). Se han añadido algunas preguntas del modelo de aceptación de tecnología (TAM) (Davis, 1993) (denominadas SA1 a SA5).

Además, se empleó el cuestionario de experiencia de usuario (UEQ), (Laugwitz, 2008). El cuestionario incluye veintiséis ítems que se responden en una escala Likert de siete puntos. Estos ítems están agrupados en seis variables que evalúan diferentes aspectos de la experiencia del usuario: Atractivo, Eficiencia, Confianza, Estimulación, Novedad y Claridad. Cada una de estas variables proporciona una visión completa sobre cómo los usuarios perciben la aplicación en términos de su diseño, funcionalidad y usabilidad.

El cuestionario también incluyó preguntas abiertas para obtener una retroalimentación más cualitativa.

5.3. Protocolo definido

Al comenzar el proceso de validación, se ofrece a cada participante una explicación detallada sobre cómo utilizar la aplicación y se destacan los aspectos más relevantes que deben tener en cuenta. Tras familiarizarse con el entorno, se les indica la tarea que deben realizar que consiste en realizar la visita guiada mediante el uso de la aplicación y experimentar con la simulación de la máquina de cálculo.

Tras completar la tarea, cada usuario procede a rellenar el cuestionario diseñado.

5.4. Análisis

Una vez definidos todos los aspectos necesarios, se procede a realizar un análisis de los datos recopilados en el estudio. Este análisis es esencial para comprender cómo los usuarios perciben diferentes características de la aplicación y para evaluar si esta cumple con los estándares establecidos en cuanto a funcionalidad y experiencia de usuario.

Antes de profundizar en los resultados, es importante señalar que las preguntas seleccionadas para el cuestionario, que sirven como base de este análisis, se encuentran detalladas en las Tablas 20 y 21. Estas tablas dividen las preguntas en dos categorías principales. La primera categoría, representada en la Tabla 20, se centra en evaluar la visibilidad y presencia de la aplicación, es decir, cómo los usuarios perciben su accesibilidad, relevancia y capacidad para integrarse en su entorno o actividades cotidianas.

Por otro lado, la Tabla 21 agrupa las preguntas orientadas a medir la usabilidad y la satisfacción del usuario con respecto a la aplicación. Aquí, se busca analizar factores como la facilidad de uso, la intuitividad de la interfaz, y la capacidad de la aplicación para cumplir con las expectativas y necesidades de los usuarios.

Preguntas para la presencia
P1-Hubo momentos durante la experiencia en los que creí que los objetos virtuales eran reales
P2-¿Observar los objetos virtuales fue tan natural como observar el resto de la sala?
P3-¿Tuviste la impresión de que los objetos virtuales estaban integrados en la sala?
P4-¿Tuviste la impresión de que podías tocar los objetos virtuales?
P5-¿Los objetos virtuales parecían estar (visualizados) en una pantalla, o tuviste la impresión de que estaban colocados en la sala?
P6-¿Tuviste la impresión de ver los objetos virtuales como meras imágenes planas o como objetos tridimensionales?
P7-¿Prestaste atención a la diferencia entre los objetos virtuales y el resto de la sala?
P8-¿Tuviste que hacer esfuerzo para reconocer los objetos virtuales como objetos tridimensionales?

Tabla 20. Preguntas del cuestionario dedicadas a la presencia.



Preguntas sobre satisfacción
SA1-Piensa en la actividad que acabas de realizar. Indica cómo de bien lo has hecho EN GENERAL, donde 1 significa “muy mal” y 7 significa “excelente”.
SA2-Me gustaría utilizar esta aplicación para recorrer este Museo.
SA3-Me resulta divertido recorrer este Museo usando esta aplicación.
SA4-Me he sentido cómodo usando la aplicación.
SA5-Me resulta fácil recorrer este Museo usando esta aplicación.

Tabla 21. Preguntas del cuestionario dedicadas a la satisfacción.

La encuesta se presenta como una herramienta estructurada fundamental para recopilar opiniones y comentarios detallados sobre diversos aspectos de la aplicación evaluada. A través de este instrumento, se busca obtener información clave que permita medir de manera precisa el rendimiento, la usabilidad y la calidad general de la aplicación. Al proporcionar una plataforma en la que los usuarios pueden expresar sus percepciones, la encuesta permite no solo identificar áreas de mejora, sino también resaltar los puntos fuertes.

Los resultados correspondientes a esta sección del cuestionario se presentan en las Figuras 55 y 56. Las respuestas a las preguntas planteadas se estructuran bajo una escala Likert de siete puntos, donde un valor de 1 representa una baja adecuación o satisfacción con respecto al tema tratado en cada pregunta, mientras que un valor de 7 indica un alto nivel de adecuación o satisfacción. Esta escala permite captar matices en las opiniones de los usuarios, proporcionando un análisis más detallado y exhaustivo de sus percepciones.

Como se puede observar en ambas figuras, la opinión general de los usuarios sobre el trabajo desarrollado en el TFM es satisfactoria. La satisfacción de los usuarios es un indicador clave de la efectividad de las soluciones implementadas y sugiere que la aplicación cumple con los objetivos planteados en términos de funcionalidad y experiencia de uso.

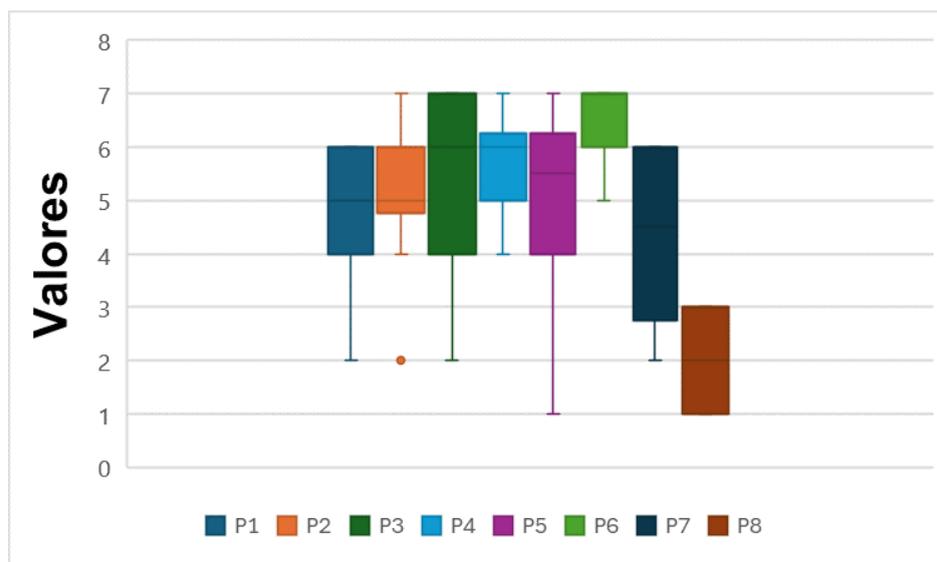


Figura 54. Gráfico de tipo Boxplot sobre las preguntas de presencia.

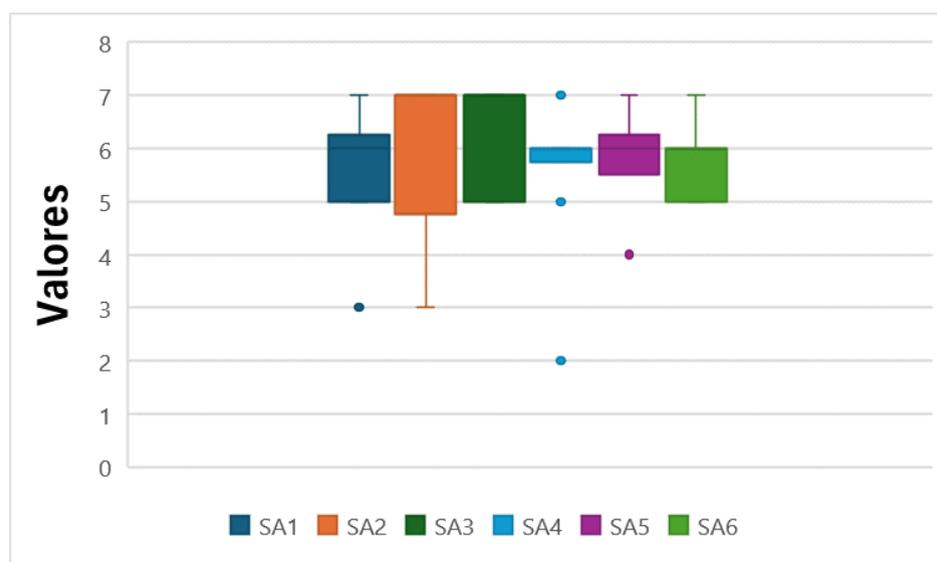


Figura 55. Gráfico de tipo Boxplot sobre las preguntas de satisfacción.

Para evaluar la experiencia de usuario de la aplicación, se ha dedicado una parte del cuestionario a seguir los principios establecidos por el User Experience Questionnaire¹¹ (UEQ). Este cuestionario es una herramienta ampliamente utilizada en el ámbito del diseño de interfaces y experiencia de usuario, proporcionando una evaluación integral de diferentes dimensiones clave, como la eficiencia, la claridad y la originalidad de una aplicación.

El análisis de los resultados se ha realizado siguiendo las directrices proporcionadas por la propia organización del UEQ, que incluye una herramienta desarrollada en una hoja de cálculo Excel. Esta herramienta facilita la introducción rápida de los datos recogidos y genera

¹¹ <https://www.ueq-online.org/>



automáticamente un conjunto de conclusiones basadas en los resultados obtenidos. En la Figura 56 se presentan los resultados de la aplicación sobre los datos del cuestionario, lo que proporciona una visión clara del desempeño de la aplicación en términos de la experiencia de usuario.

Los resultados muestran que la aplicación ha cumplido adecuadamente con las expectativas esperadas por los usuarios. Al comparar estos resultados con el benchmark ofrecido por la herramienta UEQ, se observa que la aplicación se encuentra en una posición favorable. La mayoría de sus métricas se encuentran dentro del 25% de las mejores aplicaciones evaluadas por este sistema, lo que refleja un rendimiento positivo en áreas clave. No obstante, dos dimensiones, claridad y novedad, se sitúan entre el 25% y el 50% de las evaluadas, lo que, si bien sigue siendo una posición positiva, señala áreas con un amplio margen de mejora.

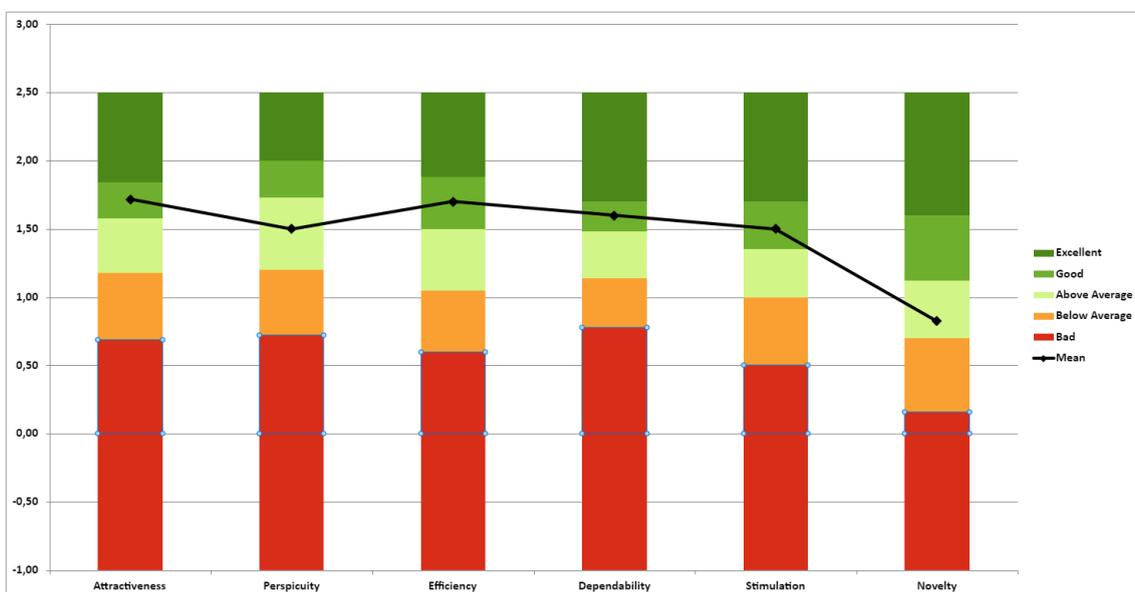


Figura 56. Cuestionario UEQ. Comparación de la aplicación con el Benchmark

Estos resultados sugieren que el trabajo de modelado, diseño y desarrollo de la aplicación ha sido en general adecuado. La alta valoración en la mayoría de las dimensiones demuestra que la aplicación ofrece una experiencia de usuario positiva y satisfactoria.

El cuestionario también incluyó tres preguntas abiertas, diseñadas específicamente para recopilar las opiniones y comentarios detallados de los usuarios que validaron la aplicación. Estas preguntas, que se encuentran definidas en la Tabla 22, han sido clave para obtener información cualitativa valiosa acerca de la experiencia de los usuarios con la aplicación. A través de sus respuestas, los participantes han proporcionado una visión más profunda y personalizada sobre su interacción con el software, permitiendo identificar aspectos que no siempre se capturan mediante preguntas cerradas o escalas numéricas.

Preguntas finales de respuesta abierta
PF1-Describe con tus palabras cómo ha sido la experiencia.
PF2-¿Qué mejorarías o añadirías a la aplicación?
PF2-Añade los comentarios que quieras

Tabla 22. Preguntas finales de respuesta abierta.

En general, los comentarios obtenidos a través de las preguntas abiertas indican que la mayoría de los usuarios están satisfechos y contentos con la aplicación. Sus observaciones y valoraciones reflejan una experiencia positiva en términos de usabilidad, funcionalidad y cumplimiento de expectativas. Muchos usuarios destacaron que la aplicación representa una excelente adición a la visita guiada al Museo, mejorando la experiencia del recorrido de manera significativa.

Sin embargo, un tema recurrente entre las sugerencias de mejora se centra en el aspecto visual de la aplicación. Varios usuarios señalaron que sería necesario aumentar el tamaño de la letra y hacer algunos componentes más visibles, con el objetivo de que la aplicación sea accesible y cómoda para todos los públicos, independientemente de sus capacidades visuales o preferencias de lectura.

5.5. Valoración

En conclusión, tras este análisis, se puede considerar que el desarrollo del TFM ha sido un éxito, validando el esfuerzo y dedicación invertidos en la creación de la aplicación. Todas las sugerencias de mejora aportadas por los usuarios serán cuidadosamente consideradas para futuras versiones, asegurando así una evolución continua que responda a las necesidades detectadas y optimice aún más la experiencia del usuario.



6. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones alcanzadas tras la realización de este TFM. En términos generales, se puede afirmar que la aplicación ha cumplido con éxito el objetivo principal y los subobjetivos planteados al inicio del TFM.

El primer subobjetivo era diseñar y desarrollar una aplicación de realidad aumentada basada en el seguimiento del entorno, con el propósito de ofrecer una guía interactiva sobre el Museo de informática. Este reto ha sido superado de manera satisfactoria, logrando una integración efectiva de la tecnología de realidad aumentada con el entorno físico del Museo, lo que ha permitido mejorar la experiencia de los visitantes.

El segundo subobjetivo consistía en desarrollar una experiencia atractiva y veraz, con respecto a los modelos diseñados e implementados en el recorrido del Museo. A partir de los comentarios y valoraciones de los participantes en el proceso de validación, ha quedado claro que la aplicación ha logrado generar una experiencia inmersiva y precisa, alineada con las expectativas y necesidades de los usuarios. Aunque siguen habiendo aspectos que deben ser pulidos.

Los datos obtenidos durante el proceso de validación han demostrado que los usuarios han valorado positivamente la aplicación, destacando su utilidad y el valor añadido que aporta a la visita al Museo. Esto confirma que los esfuerzos dedicados a la creación de la aplicación han dado sus frutos, permitiendo ofrecer una herramienta funcional que enriquece la experiencia del usuario.

Finalmente, el desarrollo de esta aplicación ha permitido poner en práctica y consolidar todos los conocimientos adquiridos durante los estudios de grado y máster. El TFM ha sido una oportunidad para aplicar una amplia variedad de habilidades técnicas y teóricas, resultando en un producto que no solo cumple con los objetivos planteados, sino que también refleja el nivel de competencia alcanzado a lo largo del proceso formativo.

6.1. Trabajos futuros

A partir de las respuestas obtenidas durante la validación del TFM, se ha identificado una serie de aspectos que requieren mejoras y ampliaciones dentro de la aplicación. Uno de los puntos destacados por los usuarios es el tamaño reducido de la interfaz, que ha resultado incómodo para algunos. Por ello, sería beneficioso rediseñar la interfaz para hacerla más accesible y visible para todo tipo de usuarios. Además, se ha señalado que el estilo visual de la aplicación podría

mejorarse significativamente con la colaboración de un diseñador gráfico, lo que permitiría una experiencia estética más atractiva y profesional.

Otro aspecto relevante es la extensión del contenido de la guía. Los usuarios consideran que ampliar el recorrido y la información proporcionada por la aplicación podría enriquecer la experiencia. Una guía más completa y detallada permitiría a los visitantes obtener una comprensión más profunda de las piezas expuestas.

Por otro lado, una posible mejora futura radicaría en la implementación en la aplicación de nuevos idiomas, lo que permitiría ampliar su alcance a una mayor cantidad de usuarios. Entre los idiomas sugeridos se encuentra el valenciano, lo que abriría la aplicación a visitantes locales incrementando su accesibilidad y valor cultural.

Finalmente, para futuros desarrollos, se podría considerar la inclusión de una mayor variedad de máquinas de cálculo emuladas dentro de la aplicación. Esta ampliación no sólo enriquecería la experiencia educativa, sino que también permitiría a los usuarios interactuar con una gama más amplia, profundizando su comprensión del desarrollo de las máquinas de cálculo a lo largo del tiempo. Con estas mejoras, la aplicación podría consolidarse como una herramienta aún más completa y educativa para los visitantes del Museo.

7. Referencias

- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4): 355–385.
- Baratta, A. F., Finucci, F., Magarò, A. (2018). Regenerating Regeneration: augmented reality and new models of minor architectural heritage reuse, *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 3(2), 1–14. doi: 10.4995/vitruvio-ijats.2018.10884.
- 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. doi: 10.1371/journal.pone.0184645.
- Davis, F. D. (1993). User Acceptance of Information Technology: System Characteristics, User Perceptions and Behavioral Impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38, 475-487. doi: 10.1006/imms.1993.1022
- Falomo Bernarduzzi, L., Bernardi, E. M., Ferrari, A., Garbarino, M. C., Vai, A. (2021). Augmented Reality Application for Handheld Devices: How to Make It hAPPen at the Pavia University History Museum. *Science & education*, 30(3), 755–773. doi: 10.1007/s11191-021-00197-z
- Furió, D., Juan, M. C., Seguí, I., Vivó, R. (2015). Mobile learning vs. traditional classroom lessons: A comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(3), 189-201. doi: 10.1111/jcal.12071.
- Gherardini, F., Santachiara, M., Leali, F. (2019). Enhancing heritage fruition through 3D virtual models and augmented reality: an application to Roman artefacts. *Virtual Archaeology Review*, 10, 67. doi: 10.4995/var.2019.11918.
- Juan, M. C., Alcañiz, M., Monserrat, C., Botella, C., Baños, R., Guerrero, B. (2005). Using Augmented Reality to treat phobias. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(6), 31-37. doi: 10.1109/MCG.2005.143.
- Juan, M. C., Loachamín-Valencia, M., García-García, 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. doi: 10.1109/ICALT.2017.27.



Kroll, P., Macisaac, B. (2006). *Agility and Discipline Made Easy: Practices from OpenUP and RUP*. 1st edition. Addison Wesley Professional.

Laugwitz, B., Schrepp, M., Held, T. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In: Holzinger, A. (Ed.): *USAB 2008, LNCS 5298*, S. 63-76.

doi: 10.1007/978-3-540-89350-9_6

Martí-Testón A., Muñoz A., Solanes J. E., Gracia L., Tornero J. (2021). A Methodology to Produce Augmented-Reality Guided Tours in Museums for Mixed-Reality Headsets. *Electronics*, 10(23), 2956. doi: 10.3390/electronics10232956.

Mendez-Lopez, M., Perez-Hernandez, E., Juan, M. C. (2016). Learning in the navigational space: Age differences in a short-term memory for objects task. *Learning and Individual Differences*, 60, 11-22. doi: 10.1016/j.lindif.2016.06.028.

Munoz-Montoya, F., Juan, M.-Carmen, Mendez-Lopez, M., Molla, R., Abad, F, Fidalgo, C. (2021). SLAM-based augmented reality for the assessment of short-term spatial memory. A comparative study of visual versus tactile stimuli. *PLOS One*, 16(2), e0245976. doi: 10.1371/journal.pone.0245976.

Regenbrecht, H., Schubert, T. (2002) Measuring presence in augmented reality environments: Design and a first test of a questionnaire. In: *Proc. 5th Annu. Int. Workshop Presence*. pp 1-7

Anexo I - ODS

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.

Personalmente, bajo mi punto de vista la realización del TFM contribuye significativamente al cumplimiento de dos ODS en concreto, siendo estos la "Educación de Calidad" e "Industria, Innovación e Infraestructura".

La educación de calidad busca en términos generales garantizar una educación inclusiva, equitativa y que se adecue a las nuevas necesidades, promoviendo oportunidades de aprendizaje para todos los alumnos. Este TFM transforma la experiencia de los visitantes del Museo, pasando de una observación pasiva a una interacción activa y personalizada. La realidad aumentada permite que los visitantes exploren las distintas vitrinas y sus correspondientes máquinas de cálculo, facilitando un aprendizaje más interactivo y adaptado a diferentes estilos.

La inclusión de contenido multilingüe es otra ventaja clave, ya que permite a personas de diferentes orígenes acceder al conocimiento sin que la barrera del idioma sea un factor tan limitante. Además, la posibilidad de actualizar el contenido de la aplicación asegura que la información proporcionada pueda ser ampliada o mejorada. De este modo, el Museo preserva la historia correspondiente a la evolución de las máquinas de cálculo al mismo tiempo que genera nuevo contenido didáctico apoyándose en tecnologías punteras.

Por otro lado, la integración de tecnologías como Vuforia o Unity en el Museo ejemplifica cómo la innovación tecnológica puede revitalizar sectores que por norma general siempre han sido más tradicionales, como puede ser un museo, y atraer con ello a una audiencia más joven. Este enfoque no solo moderniza las exhibiciones, sino que también establece un modelo replicable para otras partes del Museo de Informática e incluso otros museos dentro de la universidad.

También se impulsa la innovación al permitir que nuevas ideas sean probadas y mejoradas en un entorno real, pues la base ya ha sido construida. Esto es gracias precisamente al esfuerzo que se ha realizado para que sea lo más escalable y modificable posible.

En resumen, este proyecto de realidad aumentada para el Museo de Informática no solo enriquece la experiencia educativa de los visitantes, sino que también contribuye a la construcción de una sociedad que esté más dispuesta a experimentar con las tecnologías emergentes.