



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Plataforma de Realidad Aumentada para la exploración de zonas de interés turísticas en ciudades

Autor/a: Andrés Serrano Barajas

Grado: Ingeniería informática

Tutor/a:

Juan Manuel Jurado Rodríguez

David Jurado Rodríguez

Fecha: 19/02/2025

Licencia CC



CREA



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

D. Juan Manuel Jurado Rodríguez y D. David Jurado Rodríguez, directores del Proyecto Fin de Grado titulado: “**Plataforma de Realidad Aumentada para la exploración de zonas de interés turísticas en ciudades**”, que presenta Andrés Serrano Barajas, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Febrero de 2025

El alumno:

Firmado por SERRANO
BARAJAS ANDRES -
***8695** el día
18/02/2025 con un
certificado emitido
por AC FNMT Usuarios

Andrés Serrano Barajas

Los tutores:

JURADO
RODRIGUEZ
JUAN MANUEL
- 53598045H

Firmado digitalmente
por JURADO
RODRIGUEZ JUAN
MANUEL - 53598045H
Fecha: 2025.02.18
19:11:18 +01'00'

Juan Manuel Jurado Rodríguez

JURADO
RODRIGUEZ
Z DAVID -
53598046L

Firmado
digitalmente por
JURADO
RODRIGUEZ DAVID -
53598046L
Fecha: 2025.02.18
18:36:46 +01'00'

David Jurado Rodríguez

Agradecimientos

Quiero dedicar este espacio a expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y en mi trayectoria académica.

En primer lugar, a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido mi mayor fuente de fortaleza e inspiración. A mi madre, por su amor infinito y sus sabias palabras; a mi padre, por su ejemplo de esfuerzo y dedicación, que me han motivado a dar lo mejor de mí; a mi hermana, por su constante apoyo; y a mi abuela, cuyo cariño han dejado una huella imborrable en mi corazón. Gracias por estar a mi lado en cada paso de este camino.

No puedo olvidar hacer una mención a mi tutor, quien ha sido mucho más que un simple guía académico. Su paciencia y entusiasmo por enseñar me han inspirado profundamente y me han brindado herramientas que van más allá de lo que he aprendido en el aula.

A todos ustedes, les debo este logro. Gracias por creer en mí.

FICHA DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO	
Titulación	Grado en Ingeniería Informática
Mención	General
Especialidad	Tecnologías de la Información
Idioma	Español
Tipo	Específico
Autor	Andrés Serrano Barajas
Descripción	Desarrollo de una aplicación móvil de Realidad Aumentada (AR) enfocada en la visualización interactiva de una ciudad a partir de su mapa. La aplicación permitirá a los turistas explorar barrios y zonas de interés que se superpondrán sobre el mapa físico haciendo uso de diferentes marcadores colocados en puntos clave repartidos por el mapa.

Resumen

El proyecto de fin de grado propuesto se basa en el desarrollo de una innovadora aplicación móvil de Realidad Aumentada (RA) diseñada para la visualización y exploración interactiva de una ciudad a partir de su mapa. La aplicación permitirá a los turistas descubrir barrios y zonas de interés a través de señales superpuestas sobre un mapa, mediante marcadores colocados estratégicamente en puntos clave.

Para llevar a cabo este proyecto se ha utilizado Vuforia, una plataforma de desarrollo de realidad aumentada que permite unir sus herramientas con Unity para poder crear un entorno digital y moderno. La base del mapa tridimensional de la ciudad se ha diseñado mediante un asset de Blender, creado por un usuario de la misma plataforma y que ha dejado dicho asset como open source.

Adicionalmente, se ha utilizado una nube de puntos descargada del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea), facilitada por el Ministerio de Transportes de España, que ha servido como base para crear un modelo realista del entorno urbano. Esta nube de puntos fue transformada en una malla 3D mediante el programa CloudCompare, permitiendo obtener un resultado más adecuado para su integración en la aplicación.

La experiencia de usuario se complementa con imágenes panorámicas de 360 grados obtenidas a partir de un software externo, que ofrecen vistas inmersivas de los principales puntos turísticos. Estas imágenes son sacadas directamente de la famosa aplicación Google Street View, por lo que su uso será rápidamente aprendido por el usuario.

Este enfoque combina la realidad aumentada, la realidad virtual y la visualización urbana en 3D, ofreciendo a los usuarios una experiencia inmersiva única que facilita la navegación interactiva. Además, al mismo tiempo los usuarios podrán obtener información sobre monumentos y servicios locales de una forma visual e intuitiva sobre la ciudad de Jaén.

Abstract

The proposed final degree project is based on the development of an innovative Augmented Reality (AR) mobile application designed for the interactive visualization and exploration of a city through its map. The application will allow tourists to discover neighborhoods and areas of interest via signals overlaid on a map, using markers strategically placed at key points.

To carry out this project, Vuforia, an augmented reality development platform, has been utilized. Vuforia integrates with Unity, enabling the creation of a modern and digital environment. The foundation of the city's three-dimensional map was designed using a Blender asset, created by a user of the platform who has made the asset available as open source.

Additionally, a point cloud downloaded from PNOA (National Plan of Aerial Orthophotography), provided by the Spanish Ministry of Transport, has been used as the basis for creating a realistic model of the urban environment. This point cloud was transformed into a 3D mesh using CloudCompare, resulting in a more suitable output for integration into the application.

The user experience is further enhanced with 360-degree panoramic images obtained from external software, providing immersive views of major tourist landmarks. These images are sourced directly from the well-known Google Street View application, ensuring users can quickly familiarize themselves with its features.

This approach combines augmented reality, virtual reality, and 3D urban visualization, offering users a unique immersive experience that facilitates interactive navigation. At the same time, users will be able to access visual and intuitive information about monuments and local services within the city of Jaén.

Índice de contenido

1. Introducción.....	13
1.1 Motivación.....	13
1.2 Contexto del proyecto.....	14
1.2.1 Tecnología inmersiva.....	14
1.2.2 Realidad Aumentada.....	14
1.2.3 Realidad Virtual.....	16
1.2.4 Realidad Mixta.....	19
1.2.5 Diferencias entre Realidad Aumentada, Virtual y Mixta.....	20
1.2.6 Futuro de las tecnologías inmersivas.....	21
1.3 Objetivos del proyecto.....	23
1.4 Estado del arte.....	24
1.4.1 Realidad Aumentada.....	24
1.4.2 Realidad Virtual.....	28
1.4.3 Realidad Mixta.....	30
1.4.4 Realidad Aumentada actual.....	31
1.4.3 Tecnologías inmersivas en el turismo.....	33
1.5 Estructura de la memoria.....	35
1.5.1 Capítulo 1: Introducción.....	35
1.5.2 Capítulo 2: Planificación.....	36
1.5.3 Capítulo 3: Análisis del sistema.....	36
1.5.4 Capítulo 4: Desarrollo del sistema.....	37
1.5.5 Capítulo 5: Conclusión y mejoras futuras.....	38
2. Planificación.....	39
2.1 Metodología del desarrollo.....	39
2.2 Identificación de tareas.....	42
2.3 Planificación temporal.....	43
2.4 Estimación de costes.....	47
3. Análisis del sistema.....	51
3.1 Análisis de requisitos.....	51
3.1.1 Requisitos funcionales.....	51
3.1.2 Requisitos no funcionales.....	55
3.1.3 Perfil de usuario.....	59
3.2 Análisis y diseño del sistema.....	61
3.2.1 Casos de Uso.....	61
3.2.2 Diagrama de Casos de Uso.....	67

3.3 Diseño de la interfaz.....	70
3.3.1 Sketch.....	70
4. Desarrollo del sistema.....	72
4.1 Iteración 1: Aprendizaje e instalación.....	72
4.2 Iteración 2: Creación de prototipos.....	75
4.3 Iteración 3: Creación de los modelos 3D.....	78
4.4 Iteración 4: Agregado de realidad virtual.....	90
5. Conclusión y trabajos futuros.....	94
5.1 Conclusión.....	94
5.2 Mejoras en trabajos futuros.....	95
Bibliografía.....	97

Índice de figuras

Figura 1: Funcionamiento básico de la realidad aumentada.....	15
Figura 2: Funcionamiento básico de la realidad virtual.....	17
Figura 3: RA en el sector de la salud.....	26
Figura 4: RV en el sector del ocio.....	30
Figura 5: Mark Zuckerberg en su metaverso.....	33
Figura 6: Metodología ágil frente a la tradicional.....	42
Figura 7: Diagrama Pert de elaboración propia.....	45
Figura 8: Metodología seguida en el tablero Trello.....	51
Figura 9: Diagrama de casos de uso de elaboración propia.....	74
Figura 10: Sketch de la interfaz principal.....	75
Figura 11: Sketch de la interfaz secundaria.....	76
Figura 12: Página web principal de Vuforia.....	78
Figura 13: Importación de extensiones en Unity.....	78
Figura 14: Agregación de licencia a Unity.....	79
Figura 15: Primer prototipo funcional de aplicación AR.....	81
Figura 16: Código QR a leer para renderizar el modelo 3D.....	81
Figura 17: Repositorio de GitHub para descargar el Addon BlenderGIS.....	83
Figura 18: Importación de extensiones dentro de Blender.....	84
Figura 19: Interfaz del Addon BlenderGIS.....	84
Figura 20: Ciudad de Jaén convertido a modelo 3D.....	85
Figura 20: Ejemplo simple de nube de puntos.....	87
Figura 21: Selección de celdas de Jaén en PNOA.....	88
Figura 22: Todos los archivos LAZ de Jaén importados a CloudCompare.....	89
Figura 23: Nube de puntos de una parte de la ciudad sin normales.....	90
Figura 24: Nube de puntos con normales.....	91
Figura 25: Modelo de una parte de la ciudad después del algoritmo.....	92
Figura 26: Modelo 3D realista importado a Unity.....	93
Figura 27: Prototipo de aplicación descartada.....	94
Figura 28: Funcionamiento básico del Raycast.....	95
Figura 29: Calle vista en 360° desde Google Street View.....	96
Figura 30: Panorámica descargada del programa Street View Download.....	97
Figura 31: Aplicación de realidad aumentada final.....	98

Índice de tablas

Tabla 1: Tabla de actividades.....	41
Tabla 2: Diagrama de Gantt de elaboración propia.....	43
Tabla 3: Guía del formato para la estimación de costes.....	44
Tabla 4: Recursos humanos.....	44
Tabla 5: Hardware.....	45
Tabla 6: Software.....	45
Tabla 7: Materiales de oficina.....	46
Tabla 8: Gastos generales.....	47
Tabla 9: Resumen de costes.....	47
Tabla 10: Guía para los requisitos funcionales y no funcionales.....	49
Tabla 11: Requisito Funcional 01.....	50
Tabla 12: Requisito Funcional 02.....	51
Tabla 13: Requisito Funcional 03.....	51
Tabla 14: Requisito Funcional 04.....	52
Tabla 15: Requisito Funcional 05.....	53
Tabla 16: Requisito Funcional 06.....	53
Tabla 17: Requisito Funcional 07.....	54
Tabla 18: Requisito No Funcional 01.....	55
Tabla 19: Requisito No Funcional 02.....	55
Tabla 20: Requisito No Funcional 03.....	56
Tabla 21: Requisito No Funcional 04.....	57
Tabla 22: Requisito No Funcional 05.....	57
Tabla 23: Requisito No Funcional 06.....	58
Tabla 24: Guía para el perfil de usuario.....	59
Tabla 25: Perfil Usuario 01.....	59
Tabla 26: Perfil Usuario 02.....	60
Tabla 27: Perfil Usuario 03.....	61
Tabla 28: Guía para los casos de uso.....	63
Tabla 29: Caso de Uso 01.....	63
Tabla 30: Caso de Uso 02.....	64
Tabla 31: Caso de Uso 03.....	65
Tabla 32: Caso de Uso 04.....	66
Tabla 33: Caso de Uso 05.....	67
Tabla 34: Caso de Uso 06.....	68
Tabla 35: Caso de Uso 07.....	68

Tabla 36: Caso de Uso 08.....	69
-------------------------------	----

1. Introducción

1.1 Motivación

En el contexto del turismo urbano, los visitantes, turistas y/o extranjeros que llegan a una ciudad nueva y desconocida, suelen tener dificultades para orientarse y seleccionar los lugares de interés que desean visitar. Los mapas tradicionales, aunque son útiles, no siempre ofrecen una comprensión clara de la disposición geográfica de los monumentos o sitios relevantes. Además, carecen de interactividad y personalización, lo que puede limitar la experiencia del usuario impidiendo de esa manera crear una ruta intuitiva que les permita no perderse por el camino deseado.

La solución propuesta es una aplicación de realidad aumentada que, mediante el uso de Vuforia y Unity, permite a los usuarios visualizar una representación tridimensional de la ciudad desde sus dispositivos móviles gracias a un código QR. A través de esta herramienta, los usuarios podrán ubicarse en el mapa, explorar los principales puntos de interés, obtener información detallada sobre monumentos y sitios relevantes y planificar rutas personalizadas en función de sus preferencias. Esta aplicación proporcionará una experiencia inmersiva que combina tecnología avanzada y utilidad práctica para resolver las limitaciones actuales de las herramientas de guía turística.

Este problema del contexto turístico urbano ha sido abordado mediante el desarrollo de una aplicación móvil de Realidad Aumentada (RA) llamada Vuforia, integrada en Unity. Dicha aplicación se podrá usar mientras el usuario esté escaneando la imagen de un código QR, del cual saldrá un mapa 3D y será interactivo, es decir, el usuario podrá pulsar sobre el mapa para ver los distintos sitios turísticos con una pequeña descripción que les ayude a comprender rápidamente la situación específica del lugar en cuestión.

1.2 Contexto del proyecto

El proyecto se enmarca dentro del sector de las tecnologías inmersivas, de las cuales se han usado 2 de las más famosas: la *Realidad Aumentada* (RA) y la *Realidad Virtual* (RV).

1.2.1 Tecnología inmersiva

La *tecnología inmersiva* se refiere a aquella que busca recrear una experiencia real mediante una representación digital o simulada. Su objetivo principal es alcanzar un nivel de realismo tal que resulte cada vez más complicado distinguir entre lo virtual y lo real.[23]

1.2.2 Realidad Aumentada

La tecnología de *Realidad Aumentada* consiste en superponer contenidos visuales sobre una representación del mundo real. Para ello, se emplean dispositivos como smartphones o gafas inteligentes, los cuales incorporan la información virtual a la realidad observada por el usuario.

Cuando se utiliza un teléfono móvil, el resultado se presenta en la pantalla del dispositivo, enriqueciendo el video que graba la cámara del teléfono.

Si se emplean gafas inteligentes, la experiencia de RA se proyecta directamente frente a los ojos del usuario, mediante imágenes generadas en las lentes de las gafas, creando un efecto similar al de un holograma.

La Realidad Aumentada es el resultado de la combinación de dos tecnologías fundamentales, que son:

- **El motor gráfico**, encargado de generar y mostrar los contenidos visuales, generalmente en tres dimensiones, que forman parte de la experiencia de RA. El elemento principal que interviene en la parte gráfica es el renderizado. Este proceso consiste en la interpretación que hace el ordenador de una escena tridimensional para crear una imagen bidimensional.
- **La visión artificial**, tiene la tarea de asegurar que los elementos virtuales se ubiquen de manera precisa en la escena, logrando que la composición sea coherente y comprensible para el usuario. Mediante diversas técnicas

aplicadas en RA, se conoce comúnmente como tecnología de seguimiento o tracking. Hay múltiples tipos, como el tracking facial, que identifica y sigue la posición de un rostro, o el tracking de texturas, que asigna una imagen de referencia a un sistema de coordenadas tridimensional.



Figura 1: Funcionamiento básico de la realidad aumentada

Los tipos de realidad aumentada se pueden categorizar en 3 tipos diferentes según su uso o dispositivos usados:

- **Ordenadores personales:** Gracias a la proliferación del mundo de los videojuegos, los ordenadores comenzaron a incorporar procesadores cada vez más potentes y tarjetas gráficas dedicadas, lo que ha posibilitado el desarrollo de experiencias de RA.
- **Smartphones:** La transformación social y tecnológica impulsada por los smartphones actuó como un motor de cambio en el desarrollo de la RA. Los smartphones, y más tarde también las tabletas, ofrecieron a los usuarios la posibilidad de acceder fácilmente a experiencias de RA desde cualquier lugar. Entre 2009 y 2010, los smartphones alcanzaron una capacidad de procesamiento lo suficientemente grande como para poder ejecutar aplicaciones avanzadas de RA.
- **Gafas y visores:** El primer dispositivo promocionado en gran escala como unas gafas de Realidad Aumentada fueron las *Google Glasses* en 2012. A

pesar del considerable esfuerzo tecnológico y mediático llevado a cabo por Google, el proyecto no alcanzó el éxito esperado y tuvo que ser suspendido. No obstante, el ámbito de la Realidad Aumentada debe mucho a este revés, ya que marcó el momento en que se empezó a popularizar la idea de que el futuro de esta tecnología estaría relacionado con el uso de las gafas.

La Realidad Aumentada es una tecnología que proporciona una interfaz optimizada para acceder a información o servicios. Se puede decir que una ventaja principal de la RA es que facilita al usuario el acceso rápido a la información que necesita, desde cualquier ubicación y con la ventaja de mantener las manos libres. Siendo más específico, sus beneficios son:

- Acceso ágil a la información al detectar los patrones visuales que se hayan calibrado.
- Contenidos y animaciones 3D de alta calidad integrados en el espacio real.
- Interfaces de uso multimodales, se puede interactuar por medio de gestos y voz con las aplicaciones.
- Sensible al entorno y la ubicación, de forma que el contenido cambia en función de por donde se mueva el usuario.
- Enriquece cualquier actividad cotidiana por medio de información ampliada útil en cada momento.

1.2.3 Realidad Virtual

La tecnología de *Realidad Virtual* se basa en sumergir al usuario en un entorno completamente digital creado por ordenador, donde sus sentidos dejan de percibir el mundo real, permitiéndole experimentar un entorno alternativo.[14]

Para vivir una experiencia de RV es necesario utilizar gafas especializadas. Estas pueden estar conectadas a un ordenador, ser completamente autónomas o requerir la inserción de un teléfono móvil dentro de las gafas especializadas.

Resulta interesante comprender el funcionamiento de las gafas de RV, ya que combinan varias tecnologías en un solo dispositivo. El sistema de visualización consta de dos pantallas, una para cada ojo, que muestran secuencias de vídeo independientes. Cuando el contenido está adaptado para estas gafas, la visión

estereoscópica permite al usuario percibirlo como un entorno tridimensional, dinámico e interactivo. Además, las gafas integran sensores inerciales y de posicionamiento que detectan los movimientos del usuario, garantizando una experiencia completamente inmersiva e interactiva.

De esta forma, acciones como caminar, girar la cabeza o mover las manos en el mundo real se reflejan de manera simultánea en el entorno virtual.



Figura 2: Funcionamiento básico de la realidad virtual

Podemos encontrar actualmente diferentes tipos de Realidad Virtual que principalmente se pueden diferenciar en función del dispositivo que se utilice.

- **Dispositivos avanzados:** Los equipos más sofisticados emplean ordenadores de alto rendimiento junto con gafas de gran calidad y se utilizan principalmente en sectores profesionales como la industria o la medicina. Entre los dispositivos más destacados de esta categoría se encuentran el *HTC VIVE* y el *Oculus Rift*, que fueron pioneros en la industria y ofrecen una experiencia de Realidad Virtual altamente inmersiva.
- **Dispositivos de gama media:** Existen otros tipos de gafas más accesibles económicamente que no requieren conexión a un ordenador. Estos dispositivos, conocidos como *stand-alone*, cuentan con características

técnicas bastante competitivas a un precio mucho más reducido, ofreciendo experiencias virtuales muy realistas.

Las gafas *Oculus Quest* son las más reconocidas en este segmento y se emplean principalmente en el ámbito del entretenimiento, como videojuegos y aplicaciones sociales que permiten la interacción entre múltiples usuarios.

- **Dispositivos económicos:** Otra categoría incluye las gafas que necesitan un teléfono móvil para funcionar. En este caso, el teléfono se coloca dentro de una estructura de plástico o cartón equipada con lentes ópticas. La pantalla del móvil se divide en dos y se aprovechan sus acelerómetros, sensores inerciales y capacidad de procesamiento.

Este tipo de dispositivos es ideal para experiencias más simples, como visualizar contenido básico o disfrutar de videos en formato 360 grados.

La Realidad Virtual nos permite transportarnos a entornos y situaciones muy similares a la realidad, que nos pueden ayudar a adquirir experiencias y conocimientos aplicables posteriormente en el mundo real.

Algunos de los principales beneficios que podemos conseguir de la RV son:

- Adquisición de conocimientos de manera eficaz en entornos completamente seguros, aplicable a procesos mecánicos, situaciones de emergencia y procedimientos médicos.
- Experimentar vivencias en primera persona que facilitan la empatía hacia diversas problemáticas, ayudan a superar miedos o preparan para enfrentar situaciones incómodas.
- Ofrece una experiencia más emocionante e impactante, con experiencias intensas en ámbitos como los videojuegos o simuladores.
- Reduce costos al validar diseños o presentar proyectos, proporcionando además una visión realista del resultado final.
- Permite sesiones colaborativas donde múltiples usuarios, desde ubicaciones distintas, pueden reunirse para trabajar conjuntamente en un entorno virtual.

1.2.4 Realidad Mixta

La *Realidad Mixta* (MR, por sus siglas en inglés) es una tecnología que combina elementos del mundo real y entornos virtuales para crear nuevas formas de interacción.[2]

El concepto de realidad mixta surge como una categoría intermedia entre la VR y la AR. En 1994, Paul Milgram y Fumio Kishino introdujeron un modelo teórico que describe la transición entre entornos completamente reales y completamente virtuales. En este espectro, la realidad mixta se ubica en el punto en el que los elementos virtuales y físicos coexisten e interactúan en tiempo real.

A lo largo de las décadas siguientes, la MR ha evolucionado gracias a la mejora en sensores, procesamiento gráfico y dispositivos de visualización.

En tema de las características, uno de los aspectos fundamentales de la MR es la interacción fluida entre objetos digitales y el entorno físico. A diferencia de la realidad virtual, donde el usuario está completamente inmerso en un mundo generado por computadora, la MR permite que los elementos virtuales coexistan y reaccionen con el entorno real. Esto requiere sensores avanzados, cámaras y algoritmos de reconocimiento espacial para lograr una integración precisa.

Otro elemento clave es la interactividad. La MR permite que los usuarios manipulen objetos virtuales utilizando gestos, comandos de voz o dispositivos especializados. Esta capacidad amplía las aplicaciones de la tecnología en sectores como la educación, la medicina y la industria.

Algunos de los beneficios que se pueden obtener de la MR son:

- **Educación:** la MR facilita experiencias inmersivas que mejoran la comprensión de conceptos complejos. Los estudiantes pueden interactuar con modelos tridimensionales y visualizar fenómenos en tiempo real. En medicina, permite la planificación quirúrgica mediante simulaciones precisas, mejorando la formación de profesionales y reduciendo riesgos en procedimientos.

- **Industria:** se utiliza para el diseño y mantenimiento de maquinaria, proporcionando instrucciones en tiempo real y mejorando la eficiencia operativa. En el entretenimiento, transforma la experiencia del usuario al integrar elementos digitales en espacios físicos, generando nuevas formas de narración y juego.

A pesar del potencial que tiene, la MR enfrenta retos técnicos y de adopción. La necesidad de hardware avanzado y el alto costo de desarrollo pueden limitar su accesibilidad. Además, la calidad de la experiencia depende de la capacidad de los dispositivos para reconocer y responder con precisión a los entornos reales.

El futuro de la MR está ligado a avances en inteligencia artificial, conectividad y procesamiento de datos. Con el desarrollo de dispositivos más ligeros y asequibles, su implementación en diversas áreas podría expandirse, facilitando una mayor integración entre el mundo físico y digital.

1.2.5 Diferencias entre Realidad Aumentada, Virtual y Mixta

La Realidad Aumentada se distingue por utilizar tecnologías como la visión artificial, el mapeo y el seguimiento de profundidad para superponer contenido digital en el entorno físico. Usualmente, esta experiencia se logra mediante teléfonos inteligentes u otros dispositivos específicos diseñados para este propósito.[11]

Por otro lado, la Realidad Virtual busca recrear un entorno completamente independiente del mundo real, eliminando la interacción directa con el entorno físico. A través de gafas y auriculares especializados, los usuarios son transportados a un espacio virtual completamente diferente al que los rodea.

La Realidad Mixta se distingue de la Realidad Virtual (VR) y la Realidad Aumentada (AR) por su capacidad de fusionar ambos mundos de manera interactiva y en tiempo real.

Hay que destacar que ya existen dispositivos que combinan elementos de ambas realidades, como las *Apple Vision Pro*. Estas gafas permiten a los usuarios

sumergirse en un entorno digital tridimensional, donde las interacciones virtuales se integran con el mundo físico, creando de esa manera experiencias híbridas.

En el contexto de este proyecto de TFG también se ha creado una aplicación capaz de unir ambas tecnologías inmersivas, pero a un nivel más básico en el que no se le da importancia a la espectacularidad, sino que se busca un enfoque académico.

1.2.6 Futuro de las tecnologías inmersivas

Se prevé que en los próximos años el sector de la realidad virtual experimente un crecimiento espectacular, debido a ello, todos los dispositivos relacionados con esta tecnología serán usados por una gran cantidad de personas.

Al igual que sucedió en su momento con tecnologías como el ordenador personal o el teléfono móvil, se espera que las gafas de RV se conviertan en un dispositivo habitual en todos los hogares.[17]

Estas gafas nos permitirán acceder a una amplia gama de servicios avanzados y transformar numerosos aspectos de nuestra interacción con el entorno digital. La realidad virtual influirá de manera significativa en nuestra vida cotidiana, abarcando áreas que aún no han sido plenamente exploradas, como el arte, las relaciones sociales, los viajes inmersivos o nuevas formas de terapia y bienestar.

A medida que la tecnología avanza, podemos anticipar la creación de mundos virtuales cada vez más sofisticados, capaces de ofrecer niveles de inmersión sin precedentes. Estos entornos se distinguirán por gráficos realistas, elementos interactivos y características sociales que permitirán a los usuarios conectarse con otros de maneras significativas. La incorporación de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático potenciará estas experiencias, creando nuevos entornos que se adapten a las preferencias y comportamientos de cada usuario.

El avance de las tecnologías inmersivas enfrenta varios obstáculos técnicos y dilemas éticos, especialmente en lo relacionado con AR y VR:

- Precio de los dispositivos: El costo elevado de los equipos dificulta que más personas los compren.
- Impacto en la salud: La AR puede causar distracciones peligrosas, sobrecarga de información y efectos negativos en el bienestar, mientras que la VR puede provocar mareos, náuseas, cansancio y aislamiento social.
- Privacidad y ética: En AR, el manejo de datos y la privacidad están en riesgo por prácticas como la recopilación de información biométrica o el doxxing espacial. En VR, preocupa el acoso, el comportamiento agresivo y la creación de avatares falsos mediante inteligencia artificial.
- Manejo de datos sensibles: El análisis de emociones y datos biométricos puede dar lugar a sesgos en los algoritmos o influencias no deseadas sobre los usuarios.

1.3 Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este TFG es desarrollar una aplicación móvil de Realidad Aumentada (AR) que permita a los turistas visualizar interactivamente zonas de interés de una ciudad en formato tridimensional, utilizando marcadores y a partir de un mapa de realidad aumentada.

Objetivos específicos:

1. Desarrollar un sistema de realidad aumentada que permita superponer modelos tridimensionales de zonas urbanas sobre mapas físicos de la ciudad.
2. Implementar funcionalidades interactivas que permitan a los usuarios manipular los modelos 3D.
3. Optimizar la experiencia del usuario enfocada en el sector turístico.
4. Creación de una malla 3D a partir de una nube de puntos con formato LAZ, además de optimizar su tamaño y calidad para que pueda ser renderizado en la mayoría de dispositivos móviles.
5. Adición de un sistema de visualización de lugares en realidad virtual parecido al programa de geolocalización llamado *Google Street View* basado en fotos panorámicas de 360 grados.

1.4 Estado del arte

1.4.1 Realidad Aumentada

Las aplicaciones de la Realidad Aumentada son diversas y prácticamente en cualquier ámbito de uso se pueden identificar formas de implementarla para mejorar los resultados.

Algunos ejemplos de su aplicación en el presente incluyen los siguientes:

- **Marketing:** La publicidad en formatos impresos o en puntos estratégicos sigue siendo, incluso hoy en día, un recurso ampliamente empleado por las marcas para promocionarse. Una de las aplicaciones comunes de la Realidad Aumentada en este sector consiste en enriquecer estos anuncios a través de aplicaciones móviles disponibles en las tiendas de aplicaciones. Con dichas apps, es posible acceder a contenido adicional como videos, animaciones en 3D, descuentos, obsequios, entre otros.
- **Formación:** La RA ofrece múltiples oportunidades para optimizar el aprendizaje práctico. En muchas ocasiones, es necesario consultar manuales impresos mientras se manipulan objetos físicos, como al ensamblar un mueble o al operar una máquina. En estas situaciones, el uso de gafas de RA es especialmente útil, ya que no solo libera las manos del usuario para realizar el montaje, sino que también presenta la información directamente en el área de interés o incluso superpuesta sobre el objeto que se está manipulando.
- **Educación:** Los materiales educativos se transforman por completo al integrar la Realidad Aumentada, permitiendo interactuar con lecciones en 3D sobre temas como anatomía, química o historia. La incorporación de información tridimensional a los recursos escolares mejora bastante la comprensión de las materias. Además, la RA en el ámbito educativo proporciona a los estudiantes un entorno interactivo para explorar y aprender.[21]

- **Medicina:** Uno de los mayores beneficios de la RA es su capacidad para revelar elementos que no son visibles a simple vista. Este atributo tiene innumerables aplicaciones en el ámbito médico. Por ejemplo, un cirujano podría recibir información detallada del paciente mientras realiza una operación, incluyendo guías superpuestas en el cuerpo del paciente que indiquen las áreas de intervención, gracias a imágenes médicas aumentadas. Además, una ventaja importante de las gafas de RA en contextos quirúrgicos es que pueden controlarse mediante comandos de voz o gestos, eliminando la necesidad de contacto físico.



Figura 3: RA en el sector de la salud

Para llevar a cabo todos estos proyectos actuales sobre la Realidad Aumentada es importante entender que es un *marcador de referencia*, también llamado en inglés como *fiducial marker*.^[1]

Los marcadores fiduciales son una solución rentable para resolver problemas de etiquetado y localización monocular, lo que los convierte en herramientas valiosas en aplicaciones de realidad aumentada (RA), navegación robótica y modelado 3D. Gracias a su capacidad para calcular con precisión la posición de la cámara basándose en su forma, su fácil detección y su robustez ante cambios de

iluminación y perspectiva, estos marcadores han sido ampliamente adoptados en diversos campos.

Con la proliferación de sistemas de detección de marcadores en la última década, elegir la mejor alternativa para una aplicación específica puede ser un reto. Los marcadores fiduciales son normalmente patrones bidimensionales con un borde externo y un código interno que permite su identificación única.

Entre las alternativas disponibles, destacan:

- **Códigos QR:** Inventados en 1994, los códigos QR han sido ampliamente adoptados para el almacenamiento de información. Sin embargo, su uso en la estimación de posición de la cámara es limitado debido a su diseño y la falta de robustez ante distorsiones.
- **ARToolKit y ARToolKit+:** Uno de los primeros SDKs de RA, ARToolKit utiliza marcadores cuadrados con imágenes internas personalizables. Su evolución, ARToolKit+, mejora la detección mediante un umbral automático y una implementación en C++ optimizada para aplicaciones comerciales.
- **ArUco y ArUco3:** ArUco es una de las bibliotecas más confiables para la detección de marcadores en tiempo real. Su versión mejorada, ArUco3, introduce marcadores fractales y un procesamiento más eficiente, logrando una detección más rápida y precisa.
- **AprilTag, AprilTag2 y AprilTag3:** Estos sistemas emplean códigos binarios en patrones cuadrados, destacándose por su robustez en la detección y su precisión en la estimación de posición de la cámara.
- **STag, TopoTag y DeepTag:** STag usa un patrón circular interno que mejora la precisión de la homografía, TopoTag emplea estructuras topológicas y geométricas, utilizando hasta 16 puntos de referencia y DeepTag, basado en redes neuronales, es capaz de detectar múltiples tipos de marcadores con alta resistencia a la oclusión.
- **ChromaTag y Jumarker:** ChromaTag introduce un diseño en el espacio de color LAB, aumentando la cantidad de información codificada y Jumarker permite diseños personalizados de marcadores para aplicaciones comerciales.

- **VuMark:** Sistema comercial de Vuforia que permite la detección de objetos reales mediante marcadores personalizados almacenados en una base de datos en línea.

Se realizaron pruebas de comparación entre estos marcadores para evaluar los siguientes aspectos:

- **Tasa de detección:** ArUco3 y ArUco demostraron la mejor capacidad de detección a largas distancias (hasta 5.5m).
- **Precisión en la estimación de posición:** ArUco3 resultó el más preciso de entre todos los marcadores.
- **Resistencia a la oclusión:** DeepTag destacó al mantener una detección efectiva con hasta un 20% de oclusión.
- **Velocidad de procesamiento:** ArUco3, ArUco y STag alcanzaron las tasas de detección más rápidas.

A pesar de las pruebas realizadas, los resultados indican que la elección del sistema de marcadores depende de los requisitos específicos de cada aplicación. En resumen, para cada aplicación se puede considerar mejor marcador los siguientes:

- **Para aplicaciones de RA con mínimo temblor en la renderización 3D:** AprilTag3 es la mejor opción.
- **Para escenarios de larga distancia y alta velocidad:** ArUco3 es el más recomendado.
- **Si la resistencia a la oclusión es prioritaria:** DeepTag es la mejor elección.
- **Para aplicaciones comerciales con diseño personalizado:** Jumarker es el más preferible.

En aspectos generales, si consideramos como mejor marcador el más equilibrado, ArUco3 es la solución más versátil debido a su precisión, velocidad y flexibilidad en entornos de RA y robótica.

1.4.2 Realidad Virtual

Algunos de sus usos y aplicaciones en la vida cotidiana moderna son:

- **Educación:** La Realidad Virtual transformará radicalmente la forma en que los estudiantes aprenden en el aula. Tiene la capacidad de estimular la creatividad y la imaginación de los alumnos, facilitando la comprensión de conceptos académicos complejos y enriqueciendo su conocimiento cultural o histórico mediante viajes virtuales a otros lugares del mundo pasadas.
Además, puede desempeñar un papel clave en el desarrollo de valores. Al permitir vivir experiencias de manera inmersiva, los estudiantes pueden desarrollar empatía y reforzar virtudes como el respeto, la tolerancia, la humildad y la generosidad.
- **Arquitectura e inmobiliaria:** Gracias a la Realidad Virtual, aparecen una serie de herramientas para los arquitectos actuales que buscan ofrecer experiencias de alto valor a sus clientes. Presentar un proyecto utilizando un plano convencional no se compara con la inmersión que ofrece unos estos entornos virtuales.
Los diseñadores pueden cautivar a sus clientes, permitiéndoles explorar proyectos en primera persona, evaluar la distribución de espacios y recorrer virtualmente las propuestas arquitectónicas antes de ser construidas.
- **Medicina:** Un mundo virtual proporciona a los estudiantes de medicina una manera completamente novedosa de explorar el cuerpo humano.
Este enfoque elimina las limitaciones asociadas con el uso de cadáveres o muestras biológicas en la formación práctica.
Mediante la creación de escenarios detallados, los futuros médicos pueden practicar procedimientos quirúrgicos paso a paso y adquirir habilidades técnicas en un entorno controlado y seguro.
- **Psicología:** En el ámbito de la salud mental, la Realidad Virtual ofrece un amplio abanico de aplicaciones terapéuticas cuya eficacia ha sido probada.
Gracias a su capacidad para transportar al usuario a distintos escenarios,

permite exponer a los pacientes a situaciones que desencadenan sus dificultades psicológicas, bajo supervisión de un terapeuta.

Por ejemplo, un paciente puede realizar un recorrido virtual por un centro comercial lleno de gente, enfrentar su miedo a las alturas en un edificio elevado o superar su ansiedad durante el aterrizaje de un vuelo.

- **Ocio:** Desde hace tiempo, la Realidad Virtual se utiliza para ofrecer experiencias emocionantes, como simular una montaña rusa. Esta aplicación permite disfrutar de la velocidad y el vértigo de una atracción desde la comodidad del hogar, captando el interés de un gran número de usuarios. En el ámbito de los videojuegos, la RV ha alcanzado un nivel impresionante. Aunque la popularidad de las gafas virtuales aún no iguala la de las consolas tradicionales, la oferta de juegos triple A diseñados específicamente para RV crece constantemente, ampliando las posibilidades de entretenimiento inmersivo.



Figura 4: RV en el sector del ocio

1.4.3 Realidad Mixta

La aplicación de técnicas de RM se ha propuesto como un avance tecnológico capaz de transformar la forma en que se enseña y aprende.[19]

La incorporación de la RM en los entornos virtuales de aprendizaje (EVA) no solo

ofrece recursos didácticos enriquecidos, sino que también promueve la participación activa y la interacción social entre los estudiantes. Un *EVA* bien diseñado se sustenta en estos componentes esenciales:

- **Espacio de Conocimiento:** Integra recursos educativos, herramientas de acceso, sistemas de evaluación y orientación que facilitan la adquisición y profundización del saber.
- **Comunidad de Comunicación:** Fomenta la interacción mediante correo electrónico, foros, acceso web y redes sociales, permitiendo una comunicación fluida y colaborativa.
- **Acción Activa:** Empodera a los estudiantes para que sean creadores de información, formulen preguntas, propongan respuestas y analicen conceptos, transformándolos de simples receptores a protagonistas de su proceso formativo.
- **Kit de Herramientas:** Permite descomponer el currículo en elementos evaluables, facilitando el seguimiento de las actividades y el registro del desempeño individual.

La precisión en la visualización de los materiales y la simulación realista de interacciones sociales son factores críticos que potencian la eficacia de estos entornos. La capacidad de la RM para brindar experiencias inmersivas y personalizadas abre un abanico de posibilidades para transformar la experiencia educativa, haciendo del aprendizaje un proceso dinámico y participativo.[3]

Además del ámbito educativo, la RM ha encontrado aplicaciones significativas en otros sectores, transformando la manera en que interactuamos con el entorno y la tecnología:

- **Arquitectura e Inmobiliaria:** La RM ofrece herramientas innovadoras para arquitectos y diseñadores, permitiendo presentar proyectos de manera inmersiva. En lugar de recurrir únicamente a planos convencionales, los clientes pueden explorar propuestas arquitectónicas en primera persona, evaluar la distribución de los espacios y recorrer virtualmente los proyectos antes de su construcción.

- **Medicina:** En el campo sanitario, la RM proporciona escenarios virtuales detallados que permiten a estudiantes y profesionales de la medicina practicar procedimientos quirúrgicos de forma segura y controlada. Esta tecnología elimina las limitaciones asociadas al uso de cadáveres o muestras biológicas, facilitando la adquisición de habilidades técnicas en un entorno simulado pero realista.
- **Psicología:** La realidad mixta se ha incorporado en terapias psicológicas, ofreciendo aplicaciones que han demostrado su eficacia. Mediante la exposición controlada a distintos escenarios—como simular un centro comercial lleno de gente o enfrentar el vértigo en un edificio elevado—los pacientes pueden superar fobias y ansiedades bajo la supervisión de un profesional.
- **Ocio y Entretenimiento:** En el ámbito recreativo, la RM ha permitido la creación de experiencias emocionantes y novedosas. Desde simular el vértigo de una montaña rusa hasta desarrollar videojuegos de alto impacto, esta tecnología está ampliando las posibilidades del entretenimiento inmersivo, capturando el interés de usuarios de todas las edades.[4]

1.4.4 Realidad Aumentada actual

Una vez nombrado el estado de estas tecnologías y sus usos modernos desde hace unos cuantos años, ya se puede nombrar el mayor proyecto de la realidad aumentada y realidad virtual a día de hoy, el *Metaverso*. Aunque existen muchos de ellos, el que más llama la atención por el gran presupuesto y potencial que tiene, es el Metaverso de *Mark Zuckerberg*, es decir, el metaverso de *Facebook*.

El término Metaverso fue acuñado por primera vez en la novela de ciencia ficción *Snow Crash* de Neal Stevenson, publicada en 1992. Este concepto describe un universo virtual paralelo creado con gráficos por computadora, accesible a nivel global mediante dispositivos como gafas y auriculares.[13]

El Metaverso ha sido concebido como el Internet en tres dimensiones, también conocido como Web 3.0. Inicialmente consistió en una red de mundos virtuales interconectados, como los que permitió la tecnología de *Opensim* y su red *Hypergrid*, esta permitía a los avatares y sus inventarios viajar entre plataformas independientemente de donde se había creado el avatar.

La compañía *Facebook*, renombrada en 2021 como *Meta*, se ha consolidado como uno de los principales impulsores del Metaverso, junto con otras grandes empresas tecnológicas como *Microsoft* (Microsoft Mesh), *Apple*, *Google*, *Niantic* y *Roblox*. De hecho, la empresa liderada por *Mark Zuckerberg* ha invertido más de 10.000 millones de dólares en este ámbito.

Según *Zuckerberg*, el Metaverso de *Meta* será un espacio virtual en el que las personas podrán ingresar en lugar de limitarse a observar una pantalla.

Este gran proyecto trataría de un universo «ilimitado» formado por comunidades virtuales interconectadas, diseñado para facilitar que las personas socialicen, trabajen y disfruten de juegos utilizando las capacidades de la realidad virtual.



Figura 5: Mark Zuckerberg en su metaverso

A pesar de tener un gran potencial y ser la tecnología en la que más se ha fijado, el sueño de *Mark Zuckerberg* de un futuro en el metaverso le está costando a los inversionistas una gran cantidad de dinero.[15]

En su informe de ganancias, Meta reveló que su división *Reality Labs*, encargada de las tecnologías y proyectos de realidad virtual de la compañía, registró una pérdida operativa de 4.280 millones de dólares solo en el cuarto trimestre.

En total, en 2022 perdió 13.720 millones de dólares.[16]

Han sido unos años difíciles para *Meta*, época en la que no han conseguido elevar las expectativas sobre el metaverso, convirtiéndolo principalmente en un pozo sin fondos de gastos y deja a la compañía con la necesidad de redireccionar sus objetivos para mantener el buen funcionamiento de Messenger, Instagram, Whatsapp, etc.

1.4.5 Tecnologías inmersivas en el turismo

Este proyecto está dedicado especialmente como ayuda al turismo, en este apartado vamos a explorar algunas tecnologías inmersivas orientadas al turismo hasta el día de hoy.[5]

- **Revivir el pasado:** La Realidad Aumentada nos ofrece la oportunidad de viajar en el tiempo, permitiéndonos retroceder décadas o siglos para contemplar, a través de un dispositivo móvil, cómo lucían en su época los principales monumentos de la ciudad.

Nos permite ver cómo eran las calles, los habitantes, los edificios y las costumbres, llevando la experiencia de los turistas a un nivel más profundo de inmersión en la historia y la cultura local.

Un ejemplo destacado es el proyecto *Arte Conectado*, donde las calles de Zaragoza cobraron vida gracias a la Realidad Aumentada.

- **Gamificación:** Sin lugar a dudas, uno de los mayores beneficios que esta tecnología aporta al turismo es el componente de gamificación que añade a las experiencias. Tanto en un recorrido por la ciudad, la montaña, un museo o incluso un parque temático, la Realidad Aumentada convierte el entorno en un enorme tablero de juegos. Niños y adultos pueden participar en distintos desafíos y actividades, acumular puntos, aprender de manera entretenida y,

sobre todo, disfrutar de su experiencia turística de una forma única y memorable.

Un ejemplo actual es el proyecto de Paseos Comerciales en la ciudad de Zaragoza, donde el arte urbano, combinado con la Realidad Aumentada, permite a vecinos y visitantes recorrer los barrios mientras observan impresionantes graffitis que cobran vida a su paso.[12]

1.5 Estructura de la memoria

La estructura de la memoria de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) está diseñada para proporcionar una documentación clara y organizada sobre el desarrollo del proyecto. Antes de comenzar los capítulos del proyecto, cabe destacar que para este proyecto se le ha agregado su correspondiente portada, índice, agradecimientos y un resumen junto con el abstract para tener una guía rápida sobre este TFG. A continuación, se detalla las secciones del documento:

1.5.1 Capítulo 1: Introducción

Este capítulo establece el marco general del proyecto, abordando su contexto, motivaciones y objetivos. Se introduce la importancia de las tecnologías inmersivas, como la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV), diferenciando ambas y destacando sus aplicaciones en el sector turístico. Además, se presenta una revisión del estado del arte sobre las tecnologías inmersivas y también su uso en el turismo.

Resumen punto por punto de este capítulo:

- **1.1 Motivación:** Justificación del proyecto y su relevancia en el ámbito turístico.
- **1.2 Contexto del proyecto:** Definición del marco teórico y tecnológico en el que se basa el proyecto. En este apartado se habla de: Las tecnologías inmersivas, la Realidad Aumentada, la Realidad Virtual, las diferencias entre RA y RV y por último se habla del futuro de las tecnologías inmersivas.
- **1.3 Objetivos del proyecto:** Descripción de los propósitos principales y secundarios que se desean conseguir durante y al final del proyecto.
- **1.4 Normas y referencias:** En este apartado se habla de los mecanismos de control de calidad.
- **1.5 Estado del arte:** Contexto general en el que se sitúa el proyecto tanto en la vida diaria como en la vida tecnológica. Aparte de los proyectos actuales

que usan la RA y la RV también se hablará su relación en el mundo del turismo debido a que es este el punto principal en el que gira la creación del proyecto.

1.5.2 Capítulo 2: Planificación

Este capítulo detalla la metodología empleada para la ejecución del proyecto, identificando las tareas necesarias y su planificación temporal, así como la estimación de costes.

Resumen punto por punto de este capítulo:

- **2.1 Metodología de desarrollo:** Explicación de qué son las metodologías ágiles, ventajas de aplicarlas a un proyecto real y cuál de ellas se ha aplicado para este TFG.
- **2.2 Identificación de tareas:** Definición de las actividades principales divididas por rangos de tiempo denominadas iteraciones.
- **2.3 Planificación temporal:** Cronograma del proyecto basado en iteraciones mensuales usando el diagrama Pert para la división de actividades y el diagrama de Gantt para ver la duración de cada una de ellas.
- **2.4 Estimación de costes:** Recursos y presupuesto estimado.

1.5.3 Capítulo 3: Análisis del sistema

Aquí se describe el análisis y diseño del sistema, estableciendo los requisitos funcionales y no funcionales, así como la estructura de la interfaz y los distintos sketches creados.

Resumen punto por punto de este capítulo:

- **3.1 Análisis de requisitos:** Necesidades y características clave del sistema. Este apartado está dividido en requisitos funcionales y no funcionales. Cada uno de ellos vendrán descritos en una tabla junto con un formato guía para comprender mejor el significado de cada elemento de la tabla.
- **3.2 Análisis y diseño del sistema:** Explicación de los distintos casos de uso del usuario y del sistema con su correspondiente diagrama de casos de uso. También están descritos con una tabla y su respectiva guía de tabla.
- **3.3 Diseño de la interfaz:** Planificación mediante sketches sobre la interfaz con el objetivo de mejorar la experiencia de usuario.

1.5.4 Capítulo 4: Desarrollo del sistema

Se detalla el proceso de implementación, estructurado en iteraciones que permiten la evolución progresiva del proyecto.

Resumen punto por punto de este capítulo:

- **4.1 Iteración 1:** Aquí se explica lo que se ha hecho durante la primera iteración planificada, es decir, el primer mes de trabajo. Entre otras actividades se destaca: Tutoría con el profesor, instalación de herramientas y la definición del alcance del proyecto.
- **4.2 Iteración 2:** En este apartado se detalla cómo se ha llegado a la creación del primer prototipo de aplicación funcional de realidad aumentada gracias a las herramientas de Vuforia y su integración dentro de Unity. Además, también se habla de un pequeño diseño preliminar de cómo podría ser la interfaz inicial de la aplicación.
- **4.3 Iteración 3:** Aquí se explica cómo se ha conseguido generar los 2 modelos 3D usados. El primer modelo es uno poco detallado y se ha hecho gracias a una extensión de Blender. El segundo modelo es realista y se ha conseguido gracias a CloudCompare y un plugin para pasar las nubes de puntos a mallas 3D.

- **4.4 Iteración 4:** Finalmente para acabar las iteraciones, se ha implementado imágenes panorámicas 360° gracias a Google Street View, de esta manera se incluye un apartado de realidad virtual al proyecto. También se ha refinado el diseño de los botones, el lugar que ocupan en la interfaz y se ha pulido otros aspectos para mejorar la experiencia de usuario.

1.5.5 Capítulo 5: Conclusión y mejoras futuras

Se presentan una evaluación general del proyecto ya terminado y posibles mejoras para futuros desarrollos de proyectos parecidos a este o que al menos toquen las tecnologías inmersivas usadas.

Resumen punto por punto de este capítulo:

- **5.1 Conclusión del proyecto:** Reflexión sobre los logros alcanzados y lo que se ha conseguido hacer en general a lo largo de todo el proyecto.
- **5.2 Mejoras en trabajos futuros:** Posibles propuestas para mejorar la aplicación en un futuro, tanto de manera general aplicable a otros proyectos dedicados a la Realidad Aumentada, como de manera específica para mejorar este mismo proyecto.

2. Planificación

2.1 Metodología del desarrollo

Para poder realizar correctamente un proyecto de TFG es conveniente planificar con antelación, es aquí donde entran las metodologías ágiles. Por definición, las metodologías ágiles son enfoques que facilitan ajustar la manera de trabajar a las necesidades del proyecto, logrando una respuesta rápida y adaptable para alinear el desarrollo y ejecución del proyecto con las condiciones particulares del entorno.

En términos generales, las organizaciones que optan por este enfoque logran manejar sus proyectos con mayor autonomía, eficacia y adaptabilidad, lo que se traduce en una reducción de costos y un aumento en la productividad.

Los métodos ágiles tienen muchas ventajas sobre los sistemas tradicionales, ya que permiten iniciar un proyecto sin necesidad de conocer su resultado final, siempre y cuando se tenga claro qué se hará en el próximo sprint. Algunas ventajas son:

- **Mejora de la calidad del producto:** Estas metodologías promueven que el equipo trabaje de manera proactiva en mejorar el producto. Además, la integración y mejora continua de sus propiedades impactan positivamente en el resultado.
- **Mayor satisfacción del cliente:** El cliente, al estar involucrado durante todo el proceso mediante entregas y demostraciones, puede ver en tiempo real las mejoras realizadas.
- **Mayor motivación de los trabajadores:** Los equipos autogestionados fomentan la creatividad y la innovación entre sus miembros.
- **Trabajo colaborativo:** La división por equipos y roles, junto con reuniones frecuentes, mejora la organización del trabajo.
- **Métricas más útiles:** Las métricas en proyectos ágiles, como tiempo y costos, suelen ser más precisas gracias a la división en fases y pequeños equipos.

- **Mejor control y predicción:** Revisar y ajustar el producto durante el proceso permite un mayor control del trabajo y mejora la capacidad de prever tiempos y costos.
- **Reducción de costos:** La gestión ágil reduce la posibilidad de un fracaso total, ya que los errores se detectan durante el desarrollo, no al final.

Estas son algunas de las metodologías ágiles más usadas y conocidas por las empresas relacionadas con el mundo del IoT actualmente:

- **Scrum:** Es conocida como la «metodología del caos» y se basa en un desarrollo incremental. Cada ciclo de desarrollo del producto o servicio se divide en «proyectos pequeños» con etapas como análisis, desarrollo y testing. Durante la fase de desarrollo, se llevan a cabo las interacciones conocidas como Sprints, que son entregas parciales y regulares del producto final.
- **Kanban:** También llamada 'Tarjeta Visual', es una estrategia muy útil para gestores de proyectos. Consiste en crear un cuadro o diagrama con tres columnas que representan tareas: pendientes, en proceso y terminadas. Este tablero, accesible a todo el equipo, ayuda a evitar duplicidades y garantiza que ninguna tarea sea olvidada.
- **Extreme Programming (XP):** Esta herramienta es especialmente útil para startups o empresas en crecimiento. Su objetivo principal es fortalecer las relaciones entre empleados y clientes mediante trabajo en equipo, fomentando la comunicación y eliminando tiempos muertos.

Para este proyecto de TFG se va a usar una *metodología iterativa*. En un desarrollo de este tipo, iterativo, el proyecto se organiza en bloques de tiempo llamados iteraciones.

Cada iteración funciona como un pequeño proyecto, donde se sigue un proceso de trabajo similar en todas ellas (de ahí el término "iterativo") para avanzar hacia un producto final completo. En cada iteración, un requisito debe completarse por completo y el equipo realiza todas las tareas necesarias para que esté listo para

entregarse al cliente con el menor esfuerzo adicional posible. Así, se evita dejar actividades arriesgadas relacionadas con la entrega de requisitos para el final del proyecto.



Figura 6: Metodología ágil frente a la tradicional

2.2 Identificación de tareas

Este proyecto, como ya se ha mencionado, se va a dividir por iteraciones, en la que cada iteración equivaldrá aproximadamente a un mes. A continuación se detallará lo que se tiene pensado hacer en cada iteración:

- **1º Iteración:** En esta iteración se espera quedar en una tutoría con el profesor correspondiente al TFG. Una vez aprendido las herramientas a usar, el alcance del proyecto y qué es lo que se busca principalmente hacer en el TFG, se debe de empezar a planificar el proyecto además de aprender e instalar las herramientas que se van a tener que utilizar a lo largo del mismo.
- **2º Iteración:** Para este momento se debe de tener conocimiento suficiente como para saber crear la aplicación en *Unity* y establecer un programa con *Vuforia* capaz de leer una imagen superponiendo un objeto 3D encima de dicha imagen, teniendo de esa manera un programa en realidad aumentada que sea funcional. En esta iteración también se elegirán las formas en la que se presentará la aplicación, es decir, los botones, los textos, etc.
- **3º Iteración:** Esta iteración puede que sea la más importante, ya que en esta iteración se debe de buscar una manera de crear 2 modelos 3D de la ciudad de Jaén. Un modelo será creado mediante el programa de *Blender* y otro será un modelo 3D sacado a partir de una nube de puntos. Para poder transformar dicha nube de puntos en una malla 3D para que sea soportada por Unity, se debe de transformar con el programa *CloudCompare*.
- **4º Iteración:** Por último, de esta iteración se espera tener una interfaz usable implementada y también se debe tener los lugares turísticos elegidos dentro de la aplicación junto con su descripción e imagen de 360 grados. Esta imagen será creada en un programa llamado *Street View Download 360*.

2.3 Planificación temporal

Este proyecto TFG tendrá una duración aproximada de 300 horas. Si consideramos el inicio del proyecto el día 15 de octubre de 2024 y tenemos en cuenta que la jornada de trabajo para la elaboración del TFG será de unas 3 horas diarias, podremos mostrar los datos en la siguiente tabla de planificación de tiempos siguiendo las características nombradas.

Contiene 3 columnas, en la primera columna “Actividad” se va a mostrar la actividad a ejecutar”, en la columna “Precedente” muestra la o las actividades que deben de estar terminadas para poder hacer la actividad actual y en la última columna “Horas estimadas” muestra la cantidad de horas que se tardará aproximadamente en ejecutarse dicha actividad. En la última fila tiene un sumatorio de todas las horas estimadas.

La tabla de las actividades que se van a realizar es la siguiente:

ACTIVIDAD	PRECEDENTE	HORAS ESTIMADAS
A. Reunión con tutor, definición y planificación de objetivos	-	5 horas
B. Instalación y configuración de Unity y Vuforia	A	5 horas
C. Desarrollo de prototipo funcional de RA	B	30 horas
D. Aprendizaje básico de modelado en Blender y CloudCompare	A	25 horas
E. Diseño y modelado de figura en 3D con Blender	D	20 horas
F. Procesamiento y transformación de nube de puntos con CloudCompare	D	25 horas
G. Integración de modelos 3D en Unity y sus respectivas pruebas	E, F	25 horas
H. Adquisición y procesamiento de imágenes 360 con Street View	A	20 horas
I. Adición de marcadores turísticos con textos e imágenes de 360	H	30 horas
J. Pruebas	G, H, I	20 horas

K. Documentación	J	95 horas
	TOTAL	300 horas

Tabla 1: Tabla de actividades

Para poder mostrar de una manera más visual estas actividades, se va a recurrir al uso del diagrama *Pert*. El diagrama de *Pert* es una representación visual de las tareas de un proyecto y las dependencias conectadas a cada una.[6]

El diagrama *Pert* consta de varios nodos, cada uno de ellos corresponde a una actividad dada y se muestran en orden, es decir, una actividad no puede empezar a hacerse si no se ha terminado la actividad del nodo anterior.

La planificación temporal final para este proyecto TFG mediante el diagrama *Pert* es el siguiente:

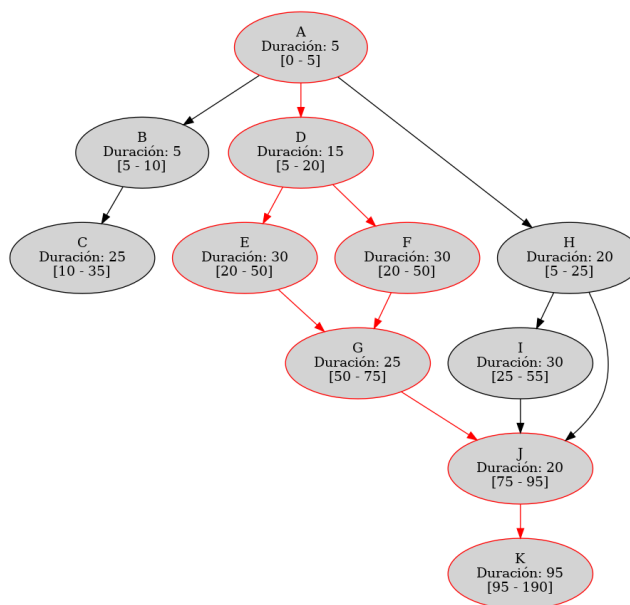


Figura 7: Diagrama Pert de elaboración propia

Al ejecutar actividades en paralelo y respetar la planificación establecida, en lugar de emplear las 300 horas inicialmente previstas para desarrollar el proyecto, podríamos completarlo en 190 horas. Esto significa que podríamos terminarlo 55 días antes de lo planeado, ahorrando 110 horas de trabajo si las tareas se realizan simultáneamente.

Además, se identifican 2 caminos críticos en el diagrama, ambos caminos críticos están compuestos por 6 actividades. El primer camino incluye las actividades A, D, E, G, J, K, y el segundo camino formado por las actividades A, D, F, G, J, K. Cualquier retraso en alguna de estas tareas impactaría en el proyecto, lo que resultaría en un aumento de los costos.

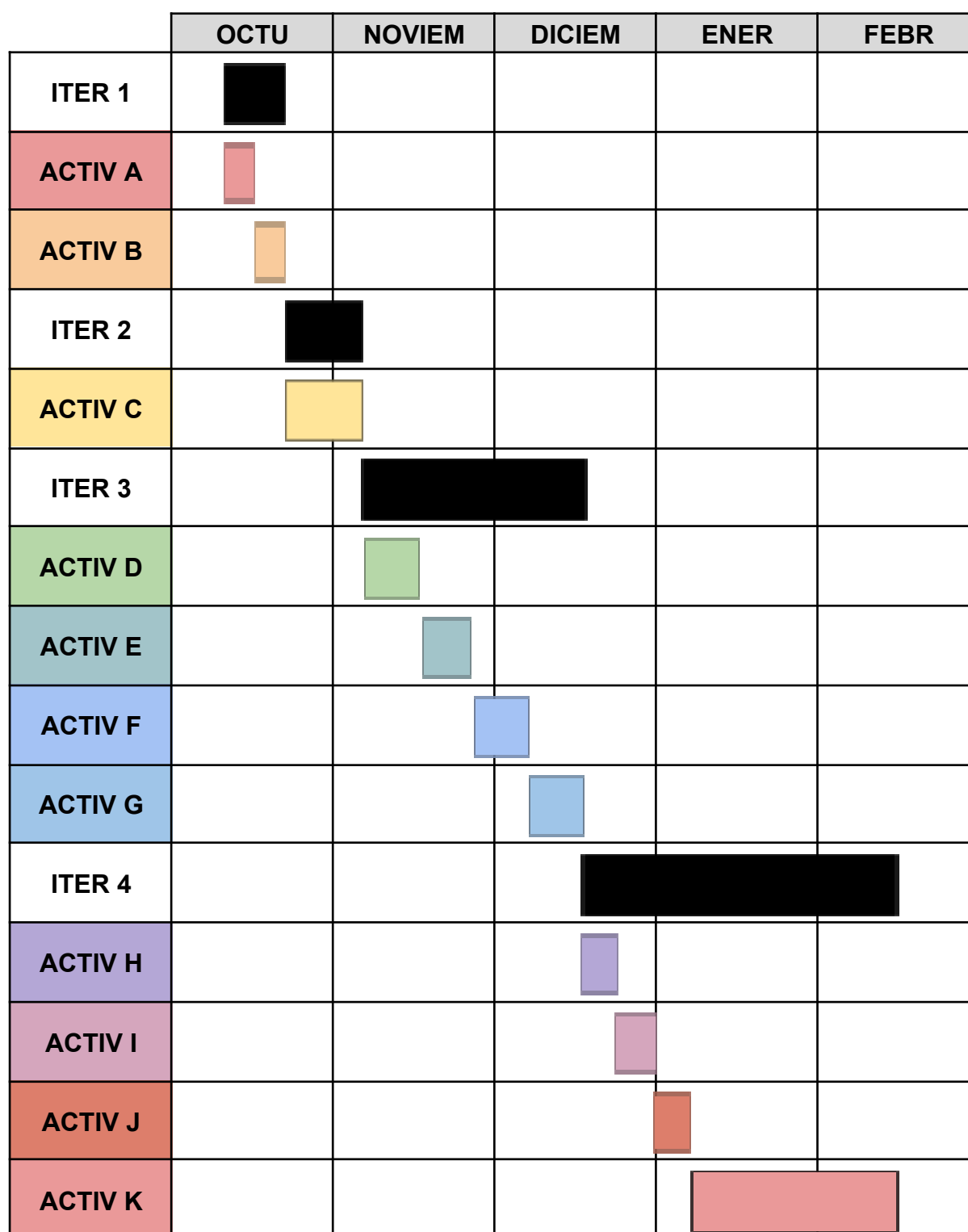


Tabla 2: Diagrama de Gantt de elaboración propia

2.4 Estimación de costes

En este apartado se va a desglosar los costes del proyecto que se ha dedicado a cada área del trabajo, para ello se tiene preparada una tabla de ejemplo con la información necesaria para entender el formato de cada uno de los campos en los que se ha evaluado esta estimación de costes:

ÁREA / CAMPO	
DESCRIPCIÓN	Descripción detallada de lo que se ha usado de herramientas y cómo se han hecho los cálculos
TOTAL	Total estimado en euros

Tabla 3: Guía del formato para la estimación de costes

RECURSOS HUMANOS	
DESCRIPCIÓN	Se estima un total de 300 horas de trabajo, sabiendo que el salario medio de un ingeniero informático en España[22] es de 13.85 €, se puede hacer los siguientes cálculos: $300 \text{ hora} \times 13.85 \text{ €/hora} = \mathbf{4155 \text{ €}}$
TOTAL	4155 €

Tabla 4: Recursos humanos

HARDWARE	
DESCRIPCIÓN	Se va a usar un ordenador portátil Victus[10] con AMD Ryzen 5 5600H, 8 GB de RAM, GPU NVIDIA GTX 1650 con un precio de 663 € y el dispositivo móvil para pruebas será el Samsung S22 Ultra con 479 € $479 \text{ €} + 663 \text{ €} = 1142 \text{ €}$
TOTAL	1142 €

Tabla 5: Hardware

SOFTWARE	
DESCRIPCIÓN	Los programas usados serán con licencias gratuitas o versiones gratuitas de Unity, Vuforia, Blender, CloudCompare y Street View Download 360, por tanto no hay coste alguno que calcular, a pesar de tener una versión de pago en algunos de los programas mencionados
TOTAL	0 €

Tabla 6: Software

MATERIALES DE OFICINA	
DESCRIPCIÓN	Los materiales usados han sido folios en blanco A4 y una impresora. El folio es usado para colocar un marcador que detectará la aplicación para saber donde poner el modelo 3D y la impresora se usará para imprimir los distintos tipos de marcadores que se impriman. El coste será una estimación aproximada de los folios, tinta y el mantenimiento de dicha impresora a lo largo de todo el trabajo realizado
TOTAL	50 € aprox.

Tabla 7: Materiales de oficina

GASTOS GENERALES	
DESCRIPCIÓN	La factura de la luz para quienes contratan su energía con un proveedor en el mercado libre depende de un acuerdo entre las partes. Este acuerdo puede variar según factores como el nivel de tensión, la potencia que se haya contratado, los hábitos de consumo y las condiciones del mercado. Aun así, se puede hacer un cálculo aproximado. En España, el consumo medio de electricidad por persona ronda los 2,41 MWh al año. Esto significa que, al mes, se consumen unos 200,83 kWh de media, según los datos disponibles. En términos de coste, esto se traduce en un gasto mensual de alrededor de 25 €. Para saber el coste de la conexión a internet solo hay que saber el costo del plan de la tarifa pactada con la compañía en cuestión. En este caso se ha pactado con Vodafone un plan de tarifa de 35 € mensuales. Como se ha trabajado en el proyecto durante 4 meses, su coste es de 140 € $25 \text{ €} + 140 \text{ €} = 165 \text{ €}$
TOTAL	165 €

Tabla 8: Gastos generales

La estimación de costes se puede resumir en una tabla:

ÁREA / CAMPO	COSTE (€)
Recursos humanos	4155
Hardware	1142
Software	0
Material de oficina	50
Gastos generales	165
TOTAL	5512

Tabla 9: Resumen de costes

La planificación de costes y tiempo suele ser fácil en la teoría, pero algo compleja de ejecutar bien y a la primera, y aún más difícil si todo el trabajo recae en una sola persona en un proyecto tan grande, por tanto, algunas recomendaciones que se deberían de tomar son: (1) Usar un programa para la planificación, por ejemplo, Trello, en las que se puede gestionar las tareas y controlar el progreso. (2) Incluir un margen en el coste total para imprevistos, como un 10 % extra para cubrir posibles retrasos o problemas técnicos. El coste total se quedaría como $5512 + 551 = 6063 \text{ €}$

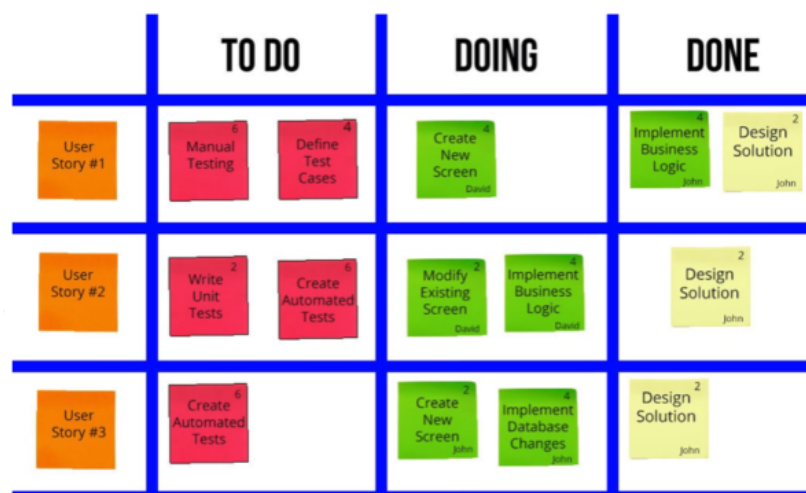


Figura 8: Metodología seguida en el tablero Trello

3. Análisis del sistema

3.1 Análisis de requisitos

El análisis del sistema es una fase crítica en el desarrollo de cualquier proyecto de software, ya que permite identificar y definir los requisitos, funcionalidades y características que el sistema debe cumplir.

Los requisitos del sistema se dividen en dos categorías principales: requisitos funcionales (qué debe hacer el sistema) y requisitos no funcionales (cómo debe hacerlo). Además, se define el perfil de usuario para identificar a los destinatarios de la aplicación. A continuación, se presenta un análisis detallado del sistema.

3.1.1 Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales describen las acciones y funcionalidades que el sistema debe ofrecer, el núcleo de los requisitos yace en la descripción del comportamiento requerido, que debe ser clara y concisa.

Para mostrar los distintos requisitos se va a presentar el formato de tabla guía que se va a seguir:

IDENTIFICADOR NUMÉRICO	
TÍTULO	Título identificativo para el requisito
DESCRIPCIÓN	Descripción detallada del requisito
PRIORIDAD	Nivel de prioridad que debería de tener el requisito, pueden ser Baja, Media o Alta

Tabla 10: Guía para los requisitos funcionales y no funcionales

El proyecto iniciará con los siguientes requisitos funcionales (no están ordenados respecto a su nivel de prioridad):

RF-01	
TÍTULO	Visualización del mapa 3D de Jaén
DESCRIPCIÓN	La aplicación debe mostrar un mapa 3D detallado de la ciudad de Jaén, creado a partir de una nube de puntos procesada y convertida en una malla tridimensional utilizando la herramienta CloudCompare. Este mapa servirá como base para la exploración interactiva de la ciudad, permitiendo a los usuarios visualizar la topografía y la estructura urbana en tres dimensiones
PRIORIDAD	Alta

Tabla 11: Requisito Funcional 01

RF-02	
TÍTULO	Integración de RA con marcadores interactivos
DESCRIPCIÓN	La aplicación integrará tecnología de Realidad Aumentada (RA) utilizando Vuforia y Unity para superponer marcadores interactivos en el mapa 3D. Estos marcadores permitirán a los usuarios explorar puntos de interés, como monumentos y servicios locales, de manera dinámica e informativa.
PRIORIDAD	Alta

Tabla 12: Requisito Funcional 02

RF-03	
TÍTULO	Detección de códigos QR para proyección del modelo 3D
DESCRIPCIÓN	La aplicación incluirá funcionalidad para detectar códigos QR impresos en un folio A4. Al escanear el código, se proyectará el modelo 3D de la ciudad de Jaén en el espacio físico, permitiendo a los usuarios interactuar con el mapa en un entorno real mediante Realidad Aumentada desde su dispositivo móvil
PRIORIDAD	Alta

Tabla 13: Requisito Funcional 03

RF-04	
TÍTULO	Interacción con botones para obtener información detallada
DESCRIPCIÓN	Los usuarios podrán interactuar con los botones superpuestos en el mapa 3D para acceder a información detallada sobre monumentos, servicios locales y zonas de interés. Esta funcionalidad proporcionará una experiencia enriquecedora, combinando navegación y aprendizaje sobre la ciudad
PRIORIDAD	Media

Tabla 14: Requisito Funcional 04

RF-05	
TÍTULO	Experiencia inmersiva con imágenes panorámicas de 360 grados
DESCRIPCIÓN	La aplicación integrará imágenes panorámicas de 360 grados obtenidas del programa <i>Street View Download</i> , que usará de forma complementaria, las panorámicas de la aplicación <i>Google Street View</i> , permitiendo a los usuarios explorar puntos turísticos clave de Jaén de manera inmersiva. Esta función complementará la visualización 3D, ofreciendo una perspectiva realista de los lugares de interés gracias a la ya mencionada realidad virtual
PRIORIDAD	Alta

Tabla 15: Requisito Funcional 05

RF-06	
TÍTULO	Acceso a información textual y visual sobre lugares destacados
DESCRIPCIÓN	La aplicación proporcionará información contextual sobre los puntos de interés, incluyendo descripciones históricas, horarios de apertura y servicios disponibles. Esta información se presentará de manera clara y accesible
PRIORIDAD	Media

Tabla 16: Requisito Funcional 06

RF-07	
TÍTULO	Diseño de una interfaz sencilla y fácil de usar
DESCRIPCIÓN	La aplicación contará con una interfaz de usuario intuitiva y accesible, diseñada para adaptarse a turistas con distintos niveles de experiencia tecnológica. La navegación será fluida y las funcionalidades estarán organizadas de manera clara, garantizando una experiencia de usuario satisfactoria
PRIORIDAD	Media

Tabla 17: Requisito Funcional 07

3.1.2 Requisitos no funcionales

Los requisitos no funcionales son las restricciones o los requisitos impuestos al sistema. Especifican el atributo de calidad del software. Los requisitos no funcionales se ocupan de problemas como la escalabilidad, la mantenibilidad, el rendimiento, la portabilidad, la seguridad, la confiabilidad y muchos más.

Para el formato de tabla se seguirá el mismo que el usado en el apartado de requisitos funcionales.

El proyecto iniciará con los siguientes requisitos funcionales (no están ordenados respecto a su nivel de prioridad):

RNF-01	
TÍTULO	Funcionamiento fluido con tiempos de carga reducidos

DESCRIPCIÓN	La aplicación debe garantizar un rendimiento óptimo, con un tiempo de carga máximo de 3 segundos para el mapa 3D y las imágenes panorámicas. Esto asegurará una experiencia de usuario fluida y sin interrupciones, incluso al manejar grandes volúmenes de datos gráficos
PRIORIDAD	Media

Tabla 18: Requisito No Funcional 01

RNF-02	
TÍTULO	Soporte para dispositivos Android e iOS con capacidades de RA
DESCRIPCIÓN	La aplicación debe ser compatible con dispositivos móviles Android e iOS que tengan soporte para realidad aumentada. Esto incluye garantizar que las funcionalidades de RA, como la superposición de marcadores y la detección de códigos QR, funcionen correctamente en ambos sistemas operativos
PRIORIDAD	Alta

Tabla 19: Requisito No Funcional 02

RNF-03	
TÍTULO	Diseño escalable para incorporar nuevas ciudades o puntos de interés

DESCRIPCIÓN	El sistema debe estar diseñado de manera que permita la incorporación de nuevas ciudades o puntos de interés en el futuro sin requerir modificaciones significativas en la arquitectura. Esto facilitará la expansión de la aplicación a otras ubicaciones geográficas
PRIORIDAD	Baja

Tabla 20: Requisito No Funcional 03

RNF-04	
TÍTULO	Interfaz de usuario fácil de aprender y usar
DESCRIPCIÓN	La interfaz de usuario debe ser intuitiva, permitiendo que usuarios sin experiencia previa en realidad aumentada puedan familiarizarse con la aplicación en un tiempo máximo de 5 minutos. Esto incluye una navegación clara y un diseño accesible
PRIORIDAD	Media

Tabla 21: Requisito No Funcional 04

RNF-05	
TÍTULO	Protección de la privacidad del usuario y de sus datos personales

DESCRIPCIÓN	La aplicación debe garantizar la privacidad de los usuarios, evitando el almacenamiento o compartimiento de datos personales sin consentimiento explícito. Esto incluye cumplir con normativas de protección de datos y asegurar que la información del usuario se maneje de manera segura. Una manera de asegurar dicha protección del usuario es no pidiendo ningún dato del mismo o no almacenando ninguna información dentro de la misma aplicación debido a la irrelevancia de los datos personales para la funcionalidad de la aplicación
PRIORIDAD	Alta

Tabla 22: Requisito No Funcional 05

RNF-06	
TÍTULO	Código bien documentado y estructurado para futuras actualizaciones
DESCRIPCIÓN	El código fuente de la aplicación debe estar bien documentado y estructurado, facilitando la realización de actualizaciones, correcciones y la incorporación de nuevas funcionalidades en el futuro. Esto asegurará la sostenibilidad del proyecto a largo plazo en el caso en el que se le quiera agregar dichas mejoras u optimizaciones
PRIORIDAD	Alta

Tabla 23: Requisito No Funcional 06

3.1.3 Perfil de usuario

El perfil de usuario define a los destinatarios principales de la aplicación, es decir, a los que estadísticamente hablando, tienen más probabilidad de acabar usando dicha aplicación ya sea destinado al uso académico o al uso turístico. Para el perfil de usuario es común crear un inicio de sesión para poder identificar al usuario que va a usar la aplicación, en este caso

Para mostrar los distintos perfiles de usuario se va a presentar el formato de tabla guía que se va a seguir:

IDENTIFICADOR	
DESTINATARIO	Posible usuario objetivo
DESCRIPCIÓN	Descripción breve sobre el perfil de usuario
PROBABILIDAD	Probabilidad de que use la aplicación

Tabla 24: Guía para el perfil de usuario

El proyecto tendrá en cuenta los siguientes perfiles de usuarios como los más probables que acabarán usando la aplicación:

PU-01	
DESTINATARIO	Turistas
DESCRIPCIÓN	Personas que visitan la ciudad de Jaén y desean explorar sus puntos de interés de manera interactiva y visual. El nivel de experiencia tecnológica puede variar desde un nivel básico hasta un nivel algo más avanzado
PROBABILIDAD	Alta, debido a que es una aplicación dedicada a ellos

Tabla 25: Perfil Usuario 01

PU-02	
DESTINATARIO	Guías turísticos
DESCRIPCIÓN	Profesionales que utilizan la aplicación como herramienta complementaria para ofrecer tours interactivos a los turistas. Como los guías turísticos usarán la aplicación con regularidad, acabarán también teniendo un gran nivel de conocimiento sobre la Realidad Aumentada
PROBABILIDAD	Media, debido a que los guías ya tienen sus propias rutas establecidas, pero pueden dar a conocer la aplicación a sus clientes para comprender mejor el mapa y los lugares que se están visitando en el momento

Tabla 26: Perfil Usuario 02

PU-03	
DESTINATARIO	Estudiantes y educadores
DESCRIPCIÓN	Las personas interesadas en aprender sobre la historia y cultura de Jaén de manera visual e inmersiva son un posible objetivo potencial. Los estudiantes también lo son y además suelen ser de media una población más joven, por tanto, no le será difícil comprender el uso de la aplicación
PROBABILIDAD	Media, ya que una buena manera de aprender cultura es mediante la Realidad Aumentada

Tabla 27: Perfil Usuario 03

3.2 Análisis y diseño del sistema

El análisis y diseño del sistema es una fase en el desarrollo del proyecto que permite identificar y detallar los requerimientos funcionales, no funcionales y los diferentes componentes que integrarán el sistema.

Para este TFG, su análisis abarca tanto la funcionalidad de la aplicación, la interacción del usuario con la interfaz y el modelo 3D, como el diseño arquitectónico de los distintos componentes que permiten que la aplicación funcione correctamente, de forma intuitiva y eficaz.

3.2.1 Casos de Uso

Los casos de uso son una herramienta importante para describir cuáles son y cómo los usuarios interactuarán con el sistema a partir de una serie detallada de instrucciones.

Para mostrar los distintos casos de uso se va a presentar el formato de tabla guía que se va a seguir:

IDENTIFICADOR NUMÉRICO	
TÍTULO	Título identificativo para el caso de uso
ACTOR PRIMARIO	Indica quién es el actor principal de la acción
DESCRIPCIÓN	Descripción detallada del caso de uso
FLUJO PRINCIPAL	Pasos a seguir en formato de instrucciones para completar el caso de uso

Tabla 28: Guía para los casos de uso

A continuación, se presentan los casos de uso más relevantes para nuestro sistema de realidad aumentada:

CU-01	
TÍTULO	Iniciar la aplicación en el móvil
ACTOR PRIMARIO	Usuario
DESCRIPCIÓN	El usuario abre la aplicación móvil en su dispositivo. La aplicación se inicia correctamente y presenta la pantalla principal con el mapa interactivo de la ciudad
FLUJO PRINCIPAL	1. El usuario abre la aplicación 2. El usuario lee el código QR correspondiente desde la aplicación sin tener que abrir personalmente la cámara 3. El sistema carga el mapa 3D en realidad aumentada y lo refleja dentro de la misma aplicación 4. El usuario puede ver el mapa cargado desde la cámara de su móvil y moverse alrededor del modelo 3D

Tabla 29: Caso de Uso 01

CU-02	
TÍTULO	Exploración del mapa interactivo

ACTOR PRIMARIO	Usuario
DESCRIPCIÓN	El usuario interactúa con el mapa, seleccionando diferentes puntos de interés. Cada punto de interés pulsado tiene una interfaz con la que el usuario puede descubrir información nueva sobre el sitio turístico
FLUJO PRINCIPAL	1. El usuario interactúa con el mapa 2. El usuario elige zona de interés a explorar pulsando sobre una flecha 3. El sistema muestra una interfaz con botones 4. El sistema muestra inicialmente información contextual sobre la zona seleccionada después de que el usuario pulse en una flecha 5. El usuario puede decidir si quitar dicha información contextual sobre el lugar con uno de los botones de la interfaz 6. El usuario puede pulsar fuera de la interfaz o de las flechas para hacer desaparecer la propia interfaz

Tabla 30: Caso de Uso 02

CU-03	
TÍTULO	Acceso a imágenes panorámicas de 360 grados para interactuar con la realidad virtual
ACTOR PRIMARIO	Usuario

DESCRIPCIÓN	El usuario tiene acceso a imágenes panorámicas de 360 grados tomadas desde ubicaciones turísticas clave, disponibles a través de la integración con Google Street View
FLUJO PRINCIPAL	1. El usuario selecciona una zona de interés en el mapa. 2. El sistema muestra una interfaz con botones 3. El usuario pulsa sobre uno de los botones para ver una imagen panorámica de 360 grados 4. El usuario puede explorar la imagen girándola en cualquier dirección 5. El usuario pulsa sobre el botón de retroceso para regresar al visualizado del mapa 3D original

Tabla 31: Caso de Uso 03

CU-04	
TÍTULO	Cambiar el modelo 3D visualizado en cualquier momento
ACTOR PRIMARIO	Usuario
DESCRIPCIÓN	El usuario puede cambiar la visualización entre 2 modelos, un modelo poco detallado de blender y un modelo muy detallado obtenido de la página PNOA gracias al Ministerio de Transporte

FLUJO PRINCIPAL	1. El usuario ve un mapa 3D poco detallado después de iniciar la aplicación y leer el código 2. El usuario pulsa sobre el botón de cambio de modelo 3. El usuario puede visualizar un modelo realista de la ciudad 4. El usuario puede volver a pulsar sobre el botón para cambiar de modelo
------------------------	---

Tabla 32: Caso de Uso 04

CU-05	
TÍTULO	Cierre de la aplicación
ACTOR PRIMARIO	Usuario
DESCRIPCIÓN	El usuario cierra la aplicación regresando a la pantalla principal de su dispositivo
FLUJO PRINCIPAL	1. El usuario sobre el botón de salir de su dispositivo 2. El usuario confirma salir de la aplicación 3. La aplicación termina su ejecución y se cierra

Tabla 33: Caso de Uso 05

CU-06	
TÍTULO	Mostrar el mapa
ACTOR PRIMARIO	Sistema
DESCRIPCIÓN	El sistema deberá de renderizar el mapa 3D cuando la aplicación se esté ejecutando en el dispositivo
FLUJO PRINCIPAL	1. Carga del modelo 3D en la memoria 2. Renderizado completo del modelo para su correcta visualización

Tabla 34: Caso de Uso 06

CU-07	
TÍTULO	Gestión de la interfaz cuando se necesite
ACTOR PRIMARIO	Sistema
DESCRIPCIÓN	El sistema deberá mostrar la interfaz en los casos que sea necesario
FLUJO PRINCIPAL	1. El sistema mostrará la interfaz en la pantalla al haber pulsado sobre ciertos botones 2. La interfaz desaparece de la pantalla cuando se pulse en otro lugar distinto de la interfaz

Tabla 35: Caso de Uso 07

CU-08	
TÍTULO	Mostrar información contextual
ACTOR PRIMARIO	Sistema
DESCRIPCIÓN	El sistema deberá mostrar la información de cada botón correspondiente al lugar turístico pulsado
FLUJO PRINCIPAL	1. El sistema mostrará la información de cada lugar turístico al pulsar sobre el botón de información 2. El sistema quitará la información con un segundo pulsado sobre el mismo botón

Tabla 36: Caso de Uso 08

3.2.2 Diagrama de Casos de Uso

Un Diagrama de Casos de Uso es una representación gráfica utilizada en la ingeniería de software para modelar las interacciones entre los actores (usuarios o clientes normalmente) y un sistema. Forma parte del lenguaje UML (Unified Modeling Language) y sirve para comprender los requisitos funcionales de una aplicación.

Este tipo de diagrama es útil para:

- Identificar los diferentes escenarios en los que los usuarios interactúan con el sistema.
- Definir el alcance y funcionalidad del software de manera clara y concisa.

- Facilitar la comunicación entre los desarrolladores, diseñadores y partes interesadas.
- Servir como base para futuras fases de desarrollo, como el diseño de la interfaz de usuario y la implementación del código.

Un diagrama de casos de uso incluye principalmente alguno de los siguientes elementos:

- **Actores:** Representan a los usuarios que interactúan con la aplicación. En este caso, el único actor es el usuario.
- **Casos de uso:** Son las funcionalidades que el sistema ofrece a los actores. Se representan con óvalos y describen las acciones principales.
- **Relaciones:** Indican la interacción entre los actores y los casos de uso, mediante líneas que los conectan entre sí.

Para este caso, el actor es el usuario que tiene la aplicación instalada en su dispositivo y el sistema se encargará de proporcionar al usuario todas las herramientas necesarias para interactuar dentro de la aplicación, de manera que pueda hacer los mencionados casos de uso.

En la siguiente imagen se muestra el diagrama de casos de uso con 2 actores, el usuario destinado a usar la aplicación y el propio sistema. Cada uno de ellos tendrá distintos casos de uso dentro de la aplicación.

La imagen del diagrama es el siguiente:

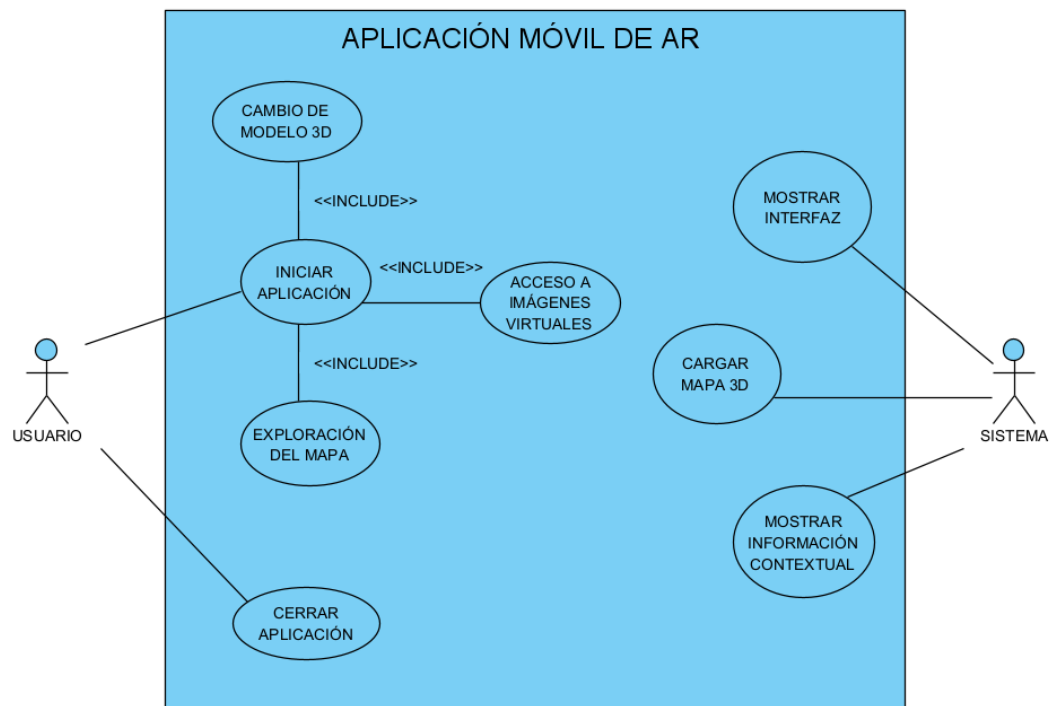


Figura 9: Diagrama de casos de uso de elaboración propia

3.3 Diseño de la interfaz

3.3.1 Sketch

El Sketch es un dibujo o boceto aproximado que representa las características principales de un objeto o escena y, a menudo, se realiza como estudio preliminar. Para este TFG se ha hecho una interfaz sencilla debido a que lo que más interesa para la aplicación es que sea aprendido rápidamente por cualquier persona independientemente de su edad, por tanto, se ha procurado mantener un bajo nivel de botones y desplegables dentro de la interfaz.

El sketch usado para saber inicialmente como iba a ser el diseño de la interfaz de la aplicación es el siguiente:

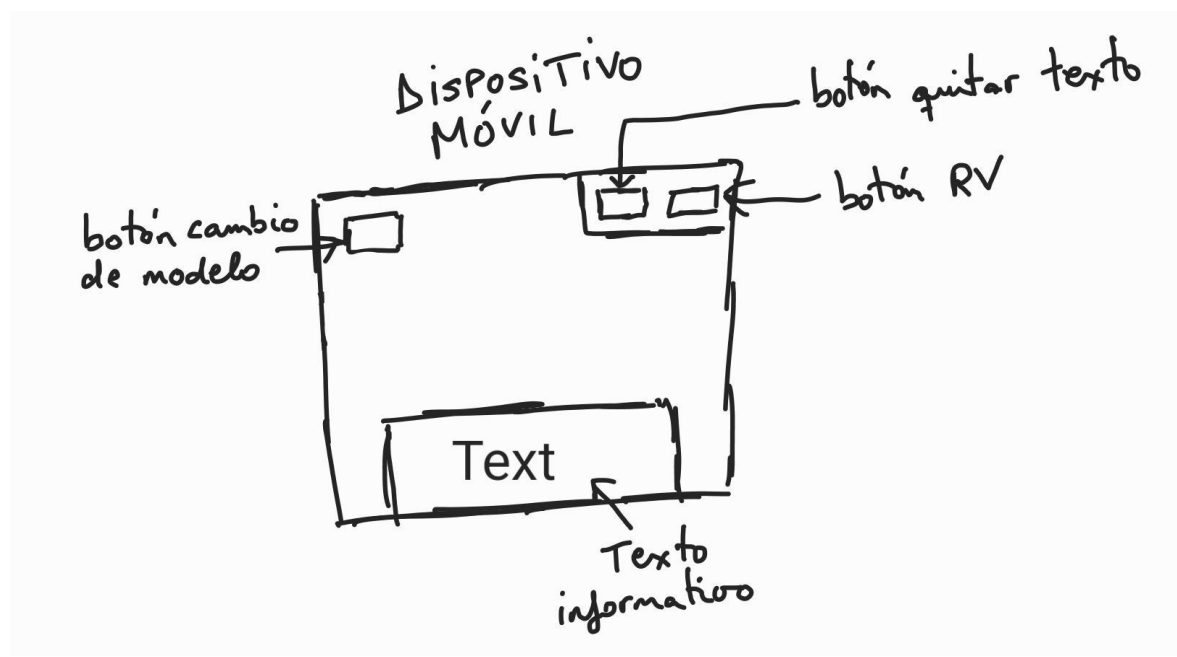


Figura 10: Sketch de la interfaz principal

El sketch de la escena en la que aparece la panorámica de la imagen de 360 grados es un poco irrelevante, pero aun así se muestra en la siguiente imagen:

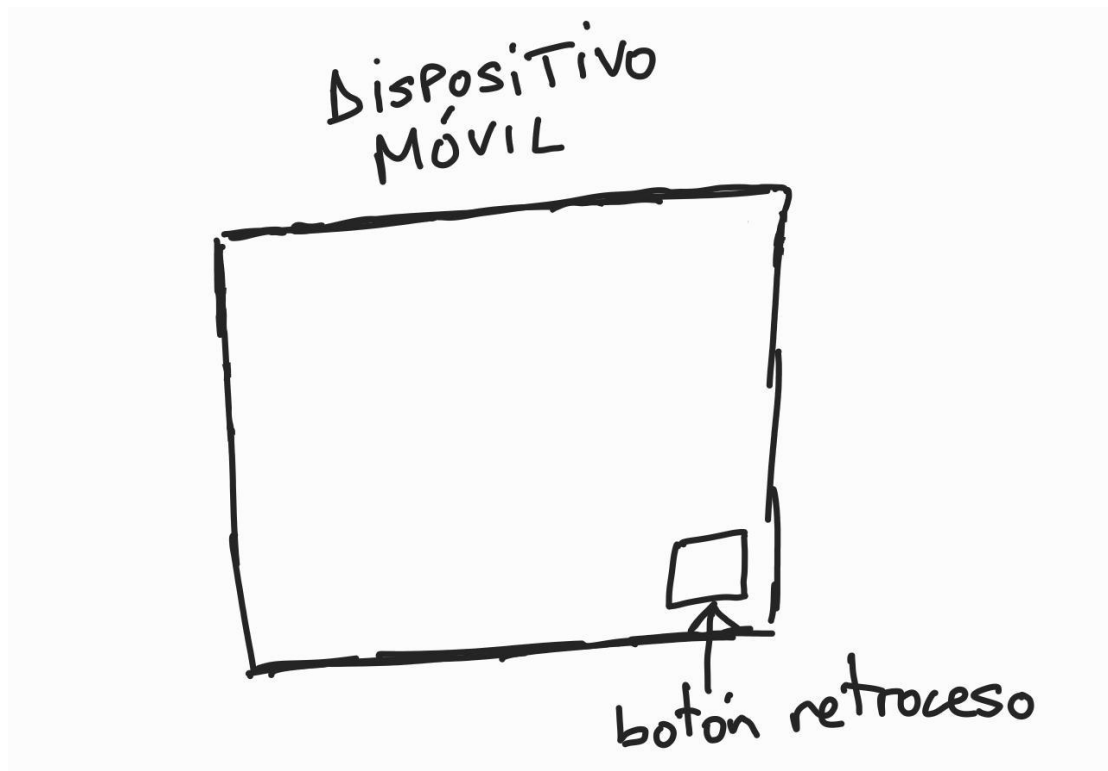


Figura 11: Sketch de la interfaz secundaria

4. Desarrollo del sistema

4.1 Iteración 1: Aprendizaje e instalación

En la primera iteración se han instalado 3 herramientas para la ejecución del proyecto, la primera ha sido *Unity*, un motor gráfico dedicado principalmente a la creación de videojuegos, la segunda herramienta ha sido *Blender*, un programa informático dedicado a la renderización, modelado y animación de gráficos tridimensionales, la tercera y última herramienta ha sido *CloudCompare*, un software de procesamiento de nubes de puntos en 3D.

No ha habido problemas durante esta iteración a la hora de tratar con Unity debido a que ya se tenía conocimientos previos de esta herramienta, pero lo que sí se ha tenido que hacer es aprender cómo integrar *Vuforia* (plataforma de desarrollo de Realidad Aumentada) dentro de Unity.

Requisitos previos para usar Vuforia: Unity instalado (versión compatible con Vuforia), tener cuenta en el portal de Vuforia Developer y tener el SDK de Vuforia para Unity.

Para crear una cuenta en la página de Vuforia no hubo problema ni tampoco para descargarse el paquete de la última versión necesario para poder integrarse dentro de Unity.[9]

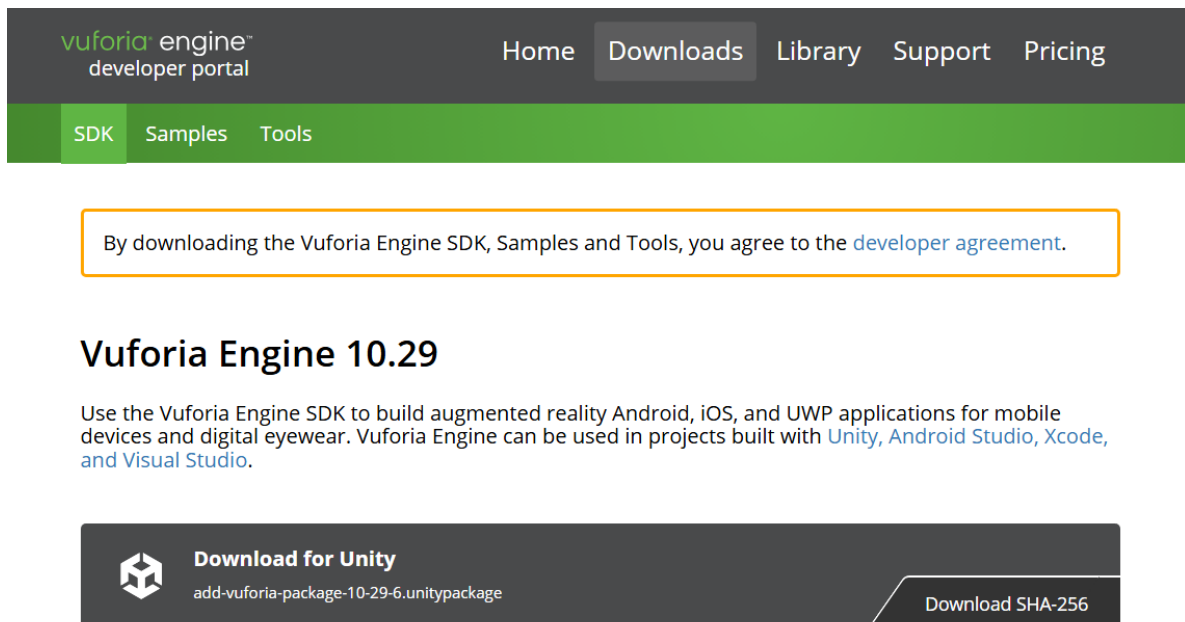


Figura 12: Página web principal de Vuforia

Una vez se tiene el paquete descargado ya se puede integrar dentro de Unity gracias a la importación de paquetes tal y como se ve en la imagen.

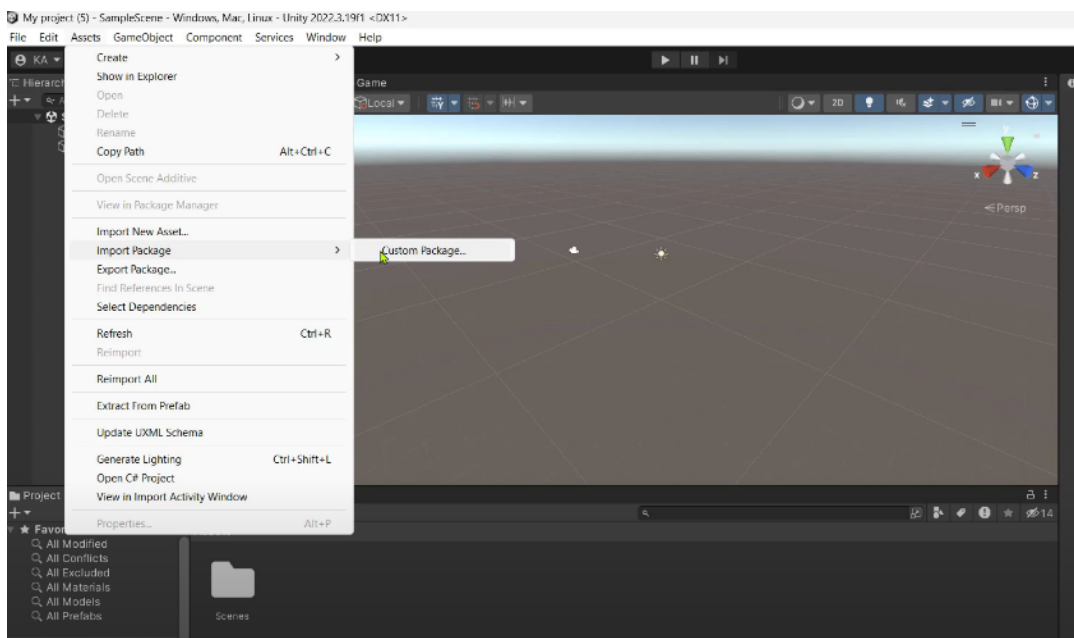


Figura 13: Importación de extensiones en Unity

Este proceso instalará Vuforia dentro de Unity, pero aún no se podrá usar correctamente en nuestro proyecto. Para poder usarlo tendremos que agregar una *License Key* de la cuenta que nos creamos en el Portal de Vuforia como se muestra en la imagen.

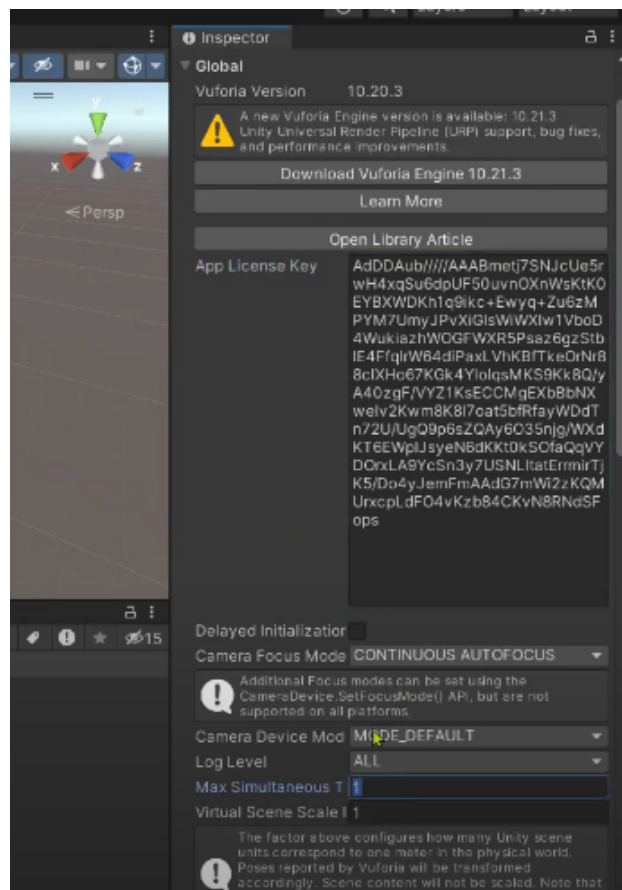


Figura 14: Agregación de licencia a Unity

4.2 Iteración 2: Creación de prototipos

En la segunda iteración se ha puesto en práctica lo aprendido durante todo el proceso de la iteración 1. Para empezar, se quería crear una aplicación de realidad aumentada funcional y de esa manera identificar posibles fallos o problemas a la hora de crearnos la aplicación final.

Primero se creó un proyecto en Unity, este proyecto era importante crearlo en 3D debido a que el usuario debe de ser capaz de ver el modelo de la ciudad desde cualquier ángulo y perspectiva posible, después se agregó el paquete descargado desde la página de Vuforia tal y como se menciona en la iteración 1.

Para probar la correcta instalación del paquete de Vuforia y su integración, lo que se hizo fue abrir el proyecto de prueba creado, en el que se creó una cámara especial para la realidad aumentada específica de Vuforia y se definió los parámetros necesarios para que, a partir de la lectura de una imagen cualquiera (llamado *marcador*), se pudiera instanciar un modelo 3D básico encima de la misma imagen. Con estos sencillos pasos, se puede crear un prototipo de aplicación de realidad aumentada.

El resultado del primer modelo para probar el correcto funcionamiento y comprensión de las herramientas de Vuforia fue el siguiente:



Figura 15: Primer prototipo funcional de aplicación AR

Durante la ejecución de la prueba de la instanciación de un modelo 3D básico en la aplicación se ha usado esta imagen:



Figura 16: Código QR a leer para renderizar el modelo 3D

Esta misma imagen se creó en una página web para personalizar tu propio código QR llamada *QR-Code-Generator*. [8]

Además, para no perder mucho tiempo en la elección o creación de una nueva imagen para la superposición del modelo 3D encima de dicha imagen, se optó por reciclar la imagen de la figura 16 para la aplicación final.

4.3 Iteración 3: Creación de los modelos 3D

En la tercera iteración se ha dedicado a conseguir los modelos 3D necesarios para que sea lo más convincente posible a la hora de compararlo con la ciudad de Jaén. También se ha dedicado a buscar los formatos disponibles que sean compatibles con el programa de Unity para que este pueda renderizarlos.

Para el primer modelo poco detallado se ha optado por usar un Addon de Blender creado por la propia comunidad. Este Addon se llama *BlenderGIS*, esta herramienta sirve para localizar ciudades en el mundo y crear con cierto realismo especificado un modelo parecido a la ciudad.

Se puede conseguir desde un repositorio de GitHub, además en el mismo repositorio explica cómo se puede implementar y usar en Blender de manera fácil y rápida, por lo que no tiene mucha complicación de uso.[7]

El repositorio en el que se ha descargado esta extensión es el siguiente:

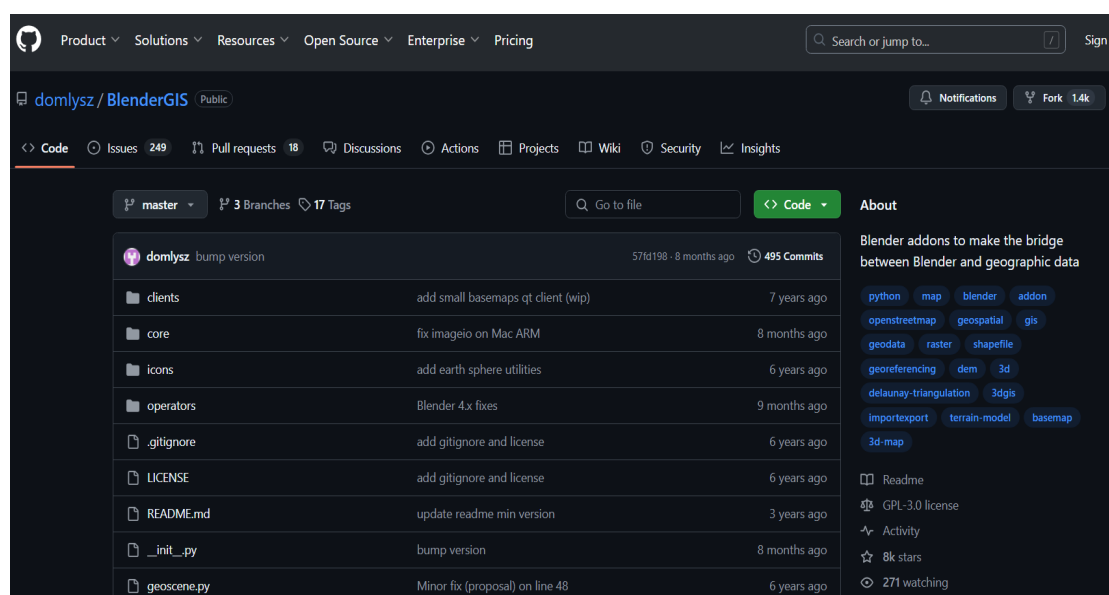


Figura 17: Repositorio de GitHub para descargar el Addon BlenderGIS

Una vez descargado, se deberá de abrir el programa de Blender y desde el apartado de *Preferencias* se podrá importar extensiones desde nuestro ordenador, de esa manera podremos añadir el Addon directamente a Blender.

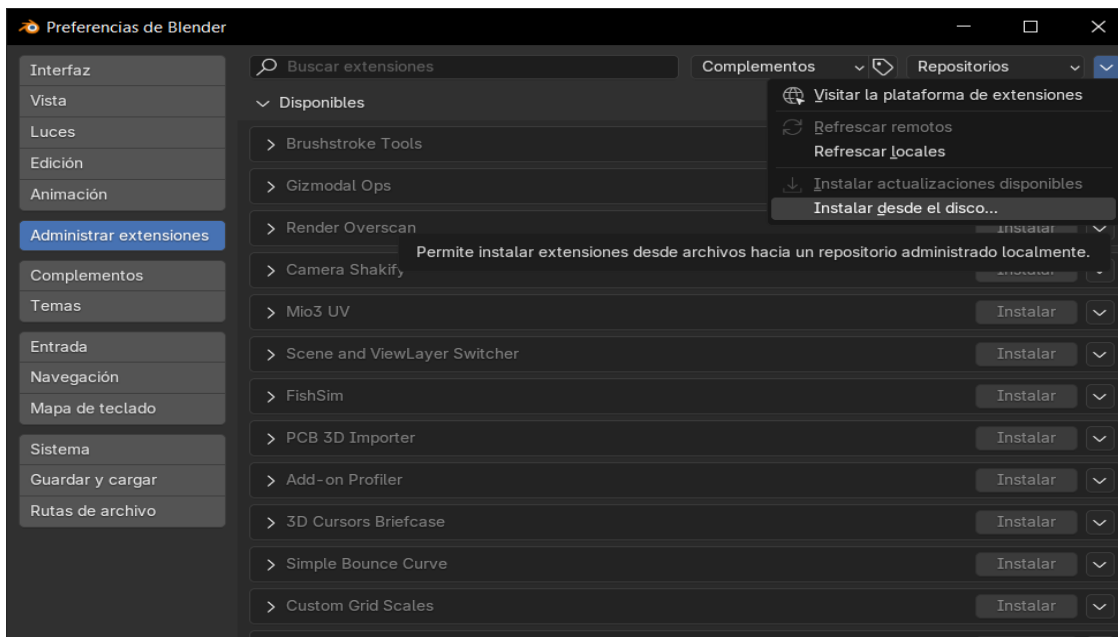


Figura 18: Importación de extensiones dentro de Blender

En la parte superior de Blender aparecerá una nueva sección llamada *GIS*, desde ese nuevo apartado se podrá crear un modelo, para ello se deberá de elegir la ciudad a renderizar.

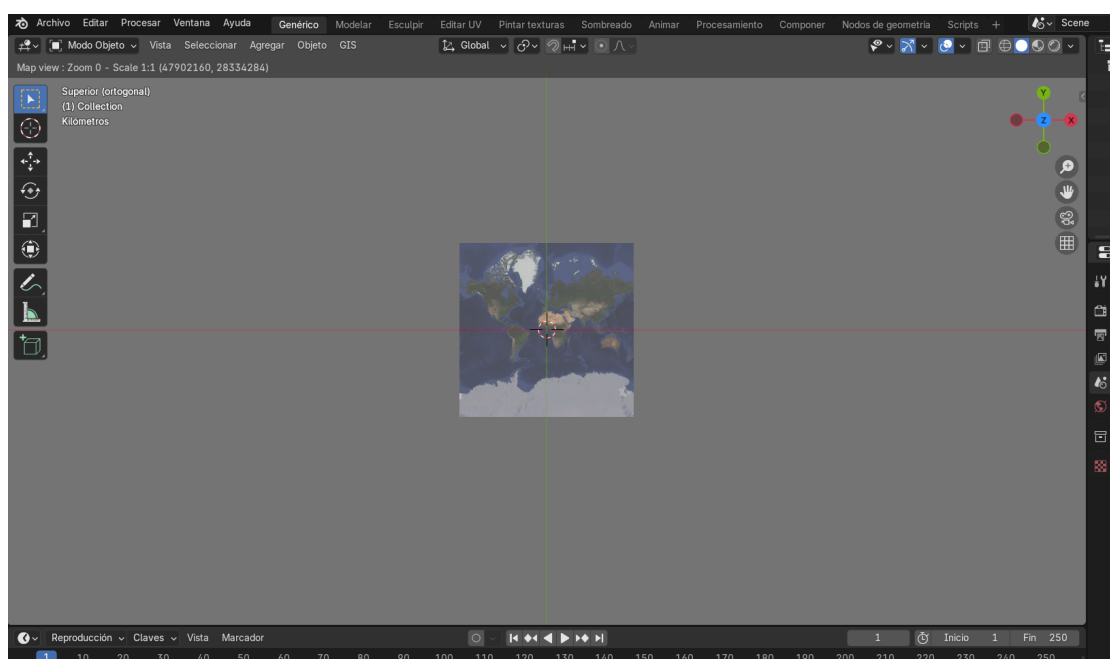


Figura 19: Interfaz del Addon BlenderGIS

Finalmente, después de seleccionar la ciudad, se puede elegir que se va a renderizar, las opciones pueden variar entre partes de la naturaleza, edificios, calles, etc. Para este caso solo se ha elegido crear los edificios de la ciudad. Haciendo todo lo anterior, el modelo final quedaría tal que así:

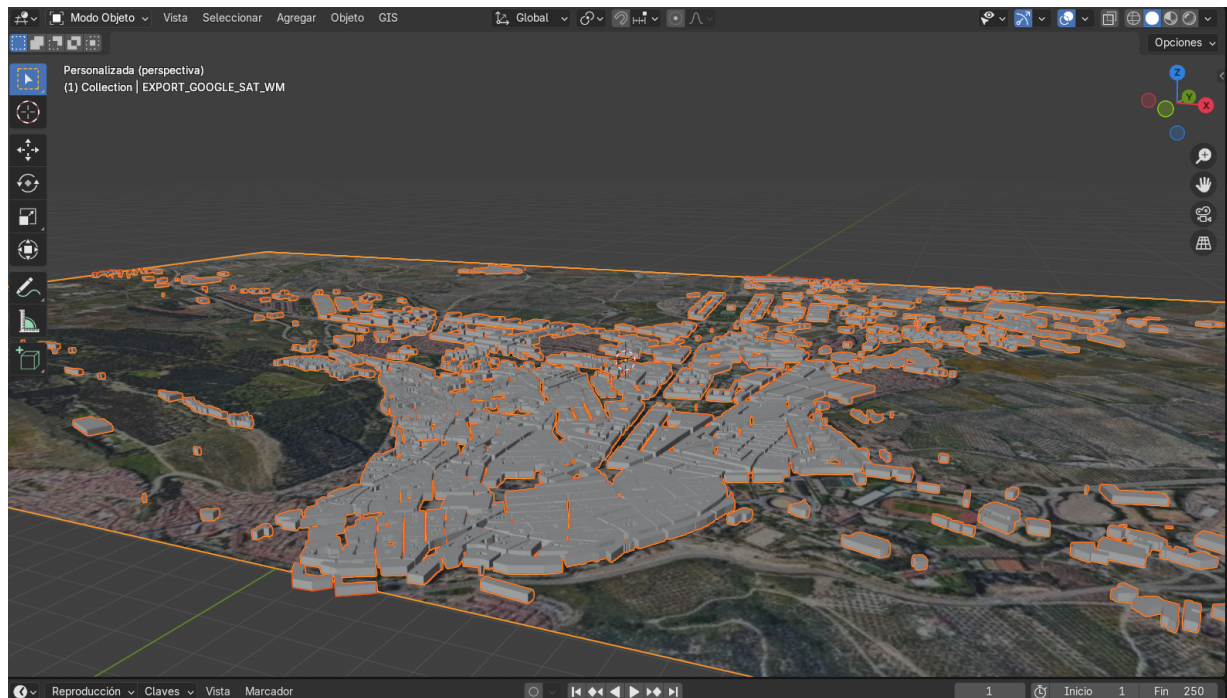


Figura 20: Ciudad de Jaén convertido a modelo 3D

Para el segundo modelo muy detallado se ha optado por usar una nube de puntos proporcionada por *PNOA* (Plan Nacional de Ortografía Aérea).[18]

Las nubes de puntos son un conjunto de vértices, que contienen la información necesaria para generar un modelo virtual. Entre otra mucha información cuenta con una representación espacial tridimensional que permite estructurar toda la información obtenida.

La finalidad de la nube de puntos es obtener una representación fiel de la realidad de una construcción concreta, como puede ser un edificio o una vivienda, que te ofrezca la posibilidad de poder trabajar digitalmente con dicho proyecto. En este caso, la representación fiel que se busca es la de la ciudad de Jaén.

Aunque existen otras opciones para llevar a cabo la creación de modelos 3D realistas, voy a decir las ventajas por las que he usado esta técnica basada en

nubes de puntos y por qué me parece mejor en comparación con otras, como por ejemplo un simple modelo tridimensional hecho a mano:

- **Precisión y detalle:** Las nubes de puntos capturan con alta precisión la geometría y texturas de objetos reales, lo que permite representaciones 3D más fieles y realistas.
- **Escaneo rápido:** Facilitan la creación rápida de modelos 3D a partir de escaneos del mundo real, reduciendo el tiempo de desarrollo en comparación con métodos tradicionales de modelado.
- **Interactividad mejorada:** Al usar nubes de puntos, los usuarios pueden interactuar con objetos 3D que replican fielmente la realidad, mejorando la inmersión en entornos de realidad aumentada (AR) o virtual (VR).
- **Adaptabilidad a entornos dinámicos:** Permiten la actualización en tiempo real de modelos 3D basados en cambios en el entorno, ideal para aplicaciones que requieren reflejar el mundo real.
- **Optimización de recursos:** Las nubes de puntos pueden ser procesadas y simplificadas para adaptarse a diferentes niveles de detalle, optimizando el rendimiento en dispositivos con capacidades limitadas, es decir, que se puede elegir la cantidad de puntos a mostrar para que un dispositivo de gama baja pueda ver el modelo.

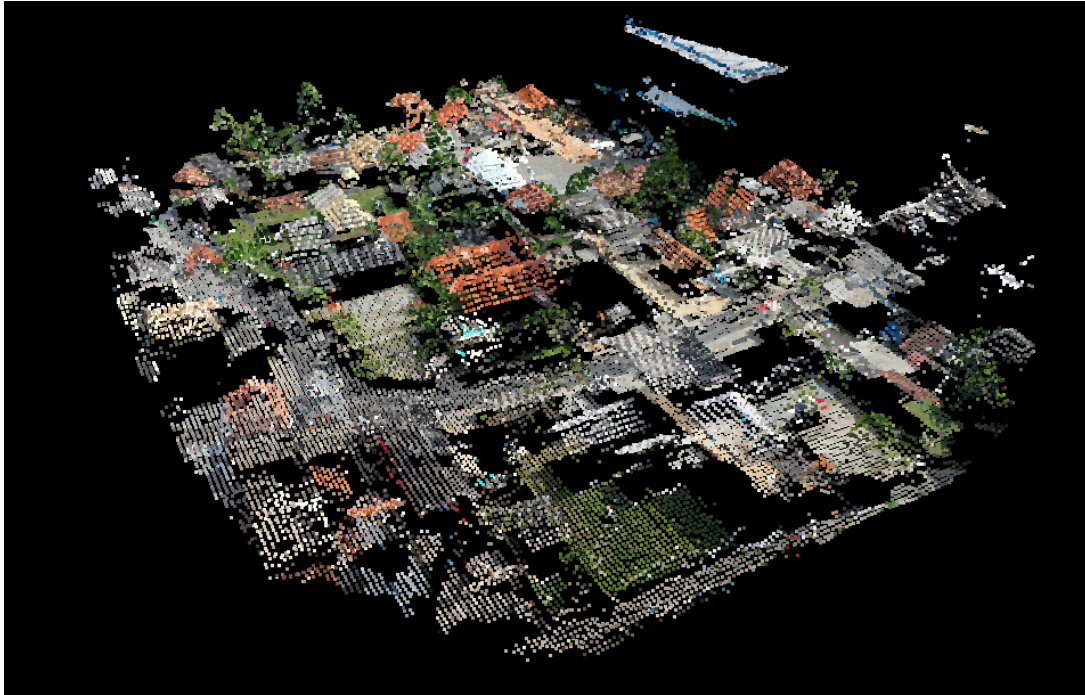


Figura 20: Ejemplo simple de nube de puntos

La página de PNOA permite descargar terrenos u otros lugares de España en distintos formatos, aunque principalmente su representación es el *LiDAR*. Existen muchos tipos de formatos LiDAR. Algunos de los formatos más comunes para trabajar con nubes de puntos son *LAZ*, *LAS*, *ASCII* (*CSV*, *TXT*), etc.

Un LiDAR es una representación espacial en tres dimensiones de una serie de retornos con sus coordenadas XYZ. Por ello, una nube de puntos se puede almacenar simplemente con cualquier formato de texto que pueda albergar dichas coordenadas o como un formato vectorial.

Para obtener el modelo realista de la ciudad de Jaén primero hay que entrar en la página de PNOA, desde allí se visualiza y se selecciona en el mapa la ciudad a descargar.



Figura 21: Selección de celdas de Jaén en PNOA

En este caso, la ciudad de Jaén contaba con aproximadamente 15 celdas para descargar, de las cuales se han elegido solo 11 celdas porque cada celda tenía bastante peso en megabytes y no se quería que la aplicación móvil pesara mucho. Todas las celdas se descargaron inicialmente con el formato LAZ.

Una vez se tenían todos los archivos necesarios descargados localmente en el ordenador, ya se podían importar al programa de CloudCompare sin problemas debido a que el formato LAZ es compatible.

Todos los archivos se pueden importar fácilmente en CloudCompare, solo hay que seleccionarlos desde el propio programa para que este los integre sin problemas.

Los archivos importados se muestran en la siguiente imagen:

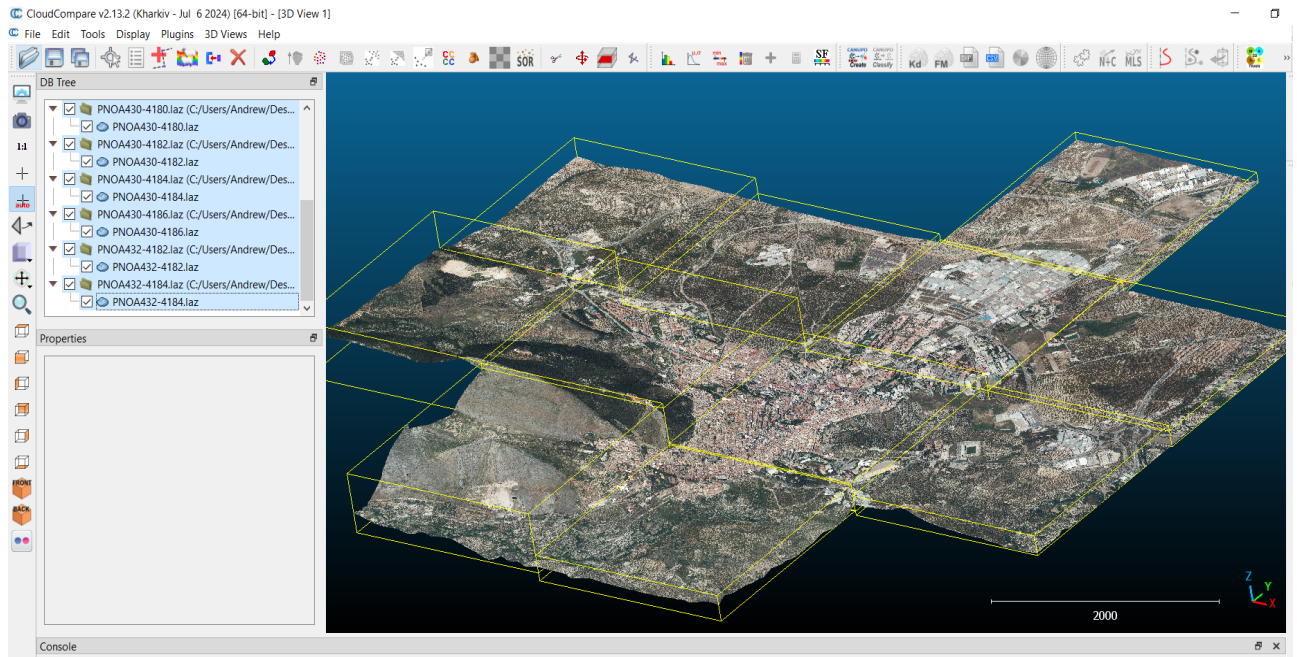


Figura 22: Todos los archivos LAZ de Jaén importados a CloudCompare

La explicación del por qué estos archivos LAZ se han añadido a CloudCompare y no se han agregado directamente a Unity es porque Unity no es capaz de leer archivos de nube de puntos, por tanto, antes tenemos que pasar los archivos LAZ a un archivo de malla 3D que sea compatible. Uno de los procesos que se ha usado para pasar de nube de puntos a malla 3D mediante un plugin de CloudCompare es *Poisson surface reconstruction*.

El 'Poisson Surface Reconstruction' es un método ampliamente utilizado para convertir nubes de puntos en mallas triangulares 3D. En CloudCompare, este proceso se realiza a través del plugin PoissonRecon, el cual implementa el algoritmo desarrollado por Misha Kazhdan en la Universidad Johns Hopkins.

Este método es especialmente útil cuando se trabaja con datos obtenidos mediante escaneo láser 3D o fotogrametría, ya que permite generar superficies suaves y continuas a partir de una nube de puntos densa con *normales* bien definidas.

Para llevar a cabo la reconstrucción de superficie mediante Poisson en CloudCompare, se deben seguir los siguientes pasos:

1. **Preparación de la Nube de Puntos:** Antes de aplicar el algoritmo, es fundamental contar con una nube de puntos que incluya normales bien orientadas. Como la nube de puntos del archivo LAZ descargada de PNOA no tiene normales, había que agregarlas.

El proceso para añadir normales a cada uno de los archivos LAZ era, seleccionar el archivo LAZ, ir a 'Edit > Normals > Compute'. El proceso no es muy tardío para generar normales, pero depende también del tamaño inicial del archivo.

Nube de puntos sin normales:

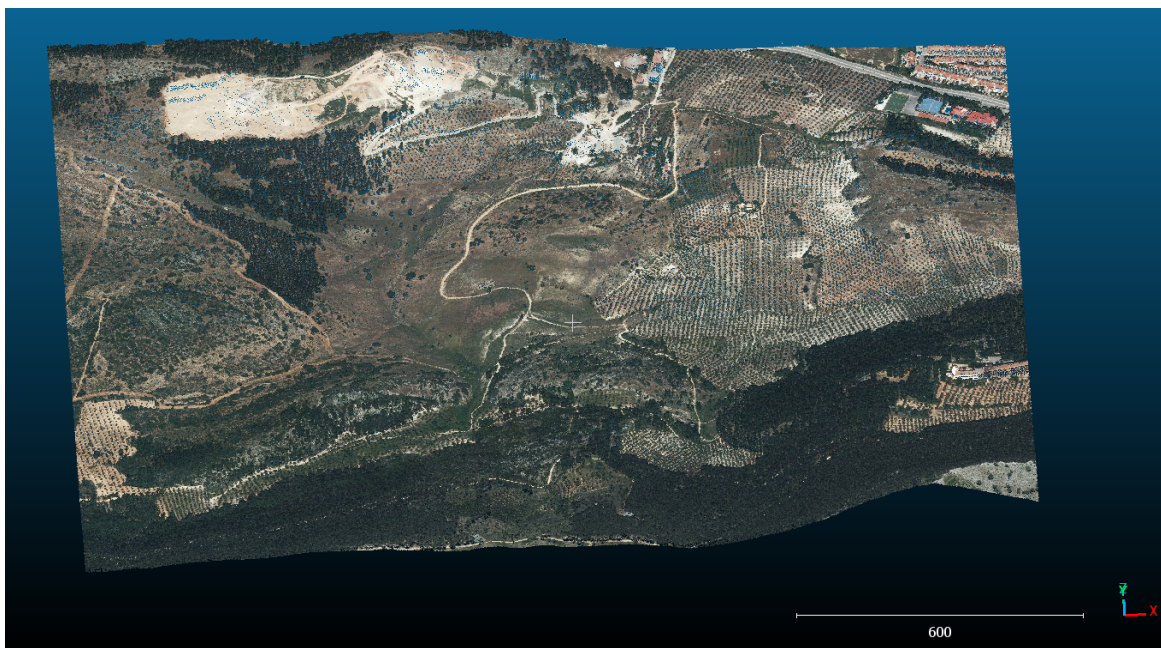


Figura 23: Nube de puntos de una parte de la ciudad sin normales

Nube de puntos con normales:

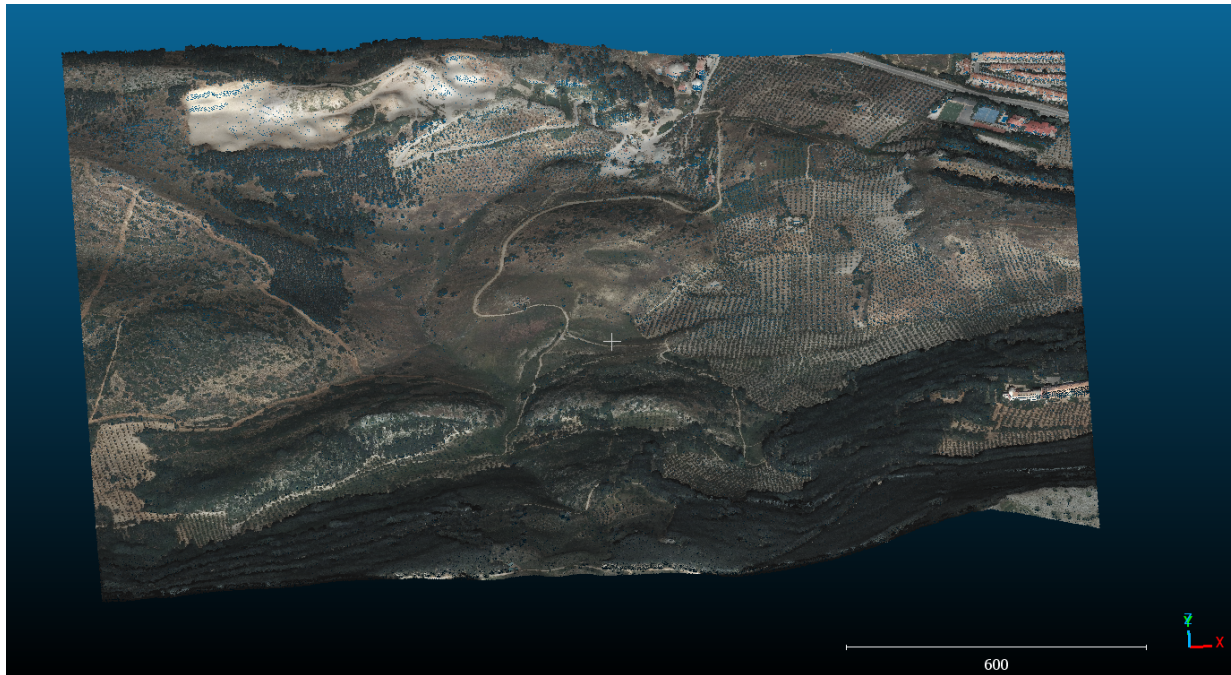


Figura 24: Nube de puntos con normales

2. Aplicación del Algoritmo Poisson Surface Reconstruction: Con la nube de puntos seleccionada, se accede al plugin PoissonRecon en CloudCompare y se configura los parámetros clave del algoritmo, entre los cuales destaca:

- Profundidad del octree (octree depth): Determina la resolución de la malla resultante. Un valor mayor genera una malla más detallada, pero también incrementa el tiempo de procesamiento y el uso de memoria.
- Interpolación de colores de la nube: Si la nube de puntos original contiene información de color, se puede habilitar la opción "interpolate cloud colors" para transferir los colores a la malla generada.

Ejecutar el proceso y esperar a que el software genere la malla triangulada. La opción elegida como octree depth fue en este caso de 9, debido a que, con un nivel de profundidad de 10, el peso de un solo archivo resultante sería muy pesado y si fuera un nivel de profundidad 8, el archivo no sería lo suficientemente detallado.

El archivo LAZ visualmente quedaría así después de terminar este método:

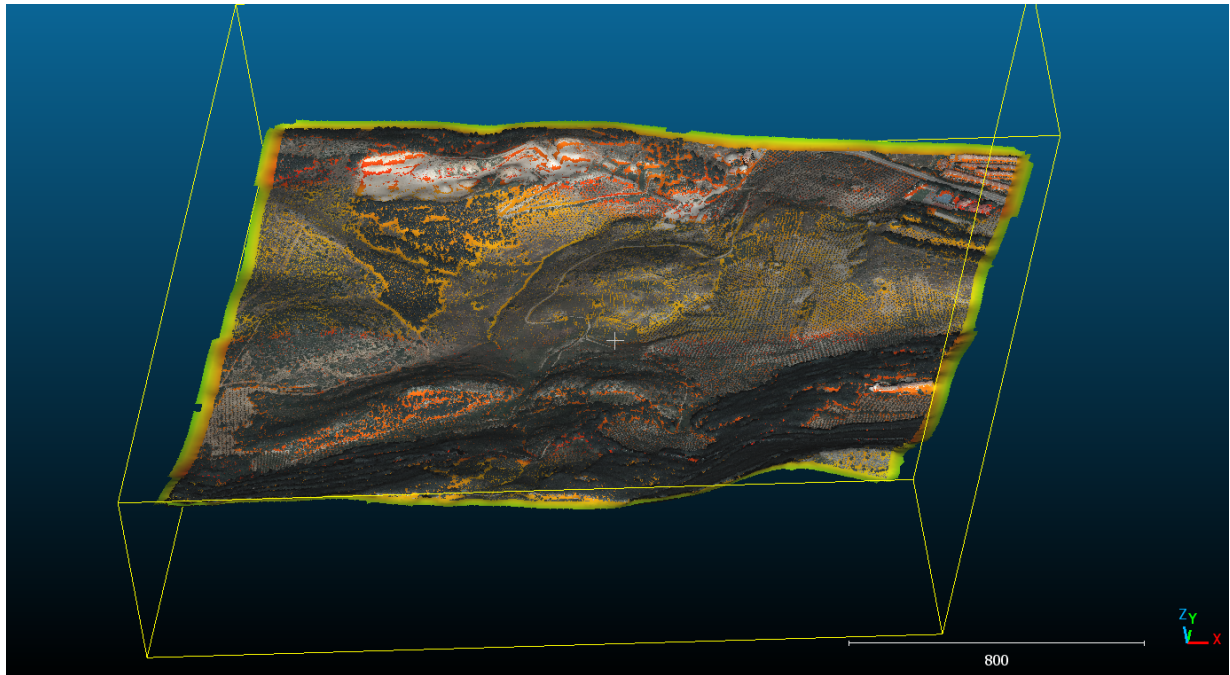


Figura 25: Modelo de una parte de la ciudad después del algoritmo

3. Refinamiento de la Malla: Una vez generada la malla, se pueden realizar ajustes adicionales, como el uso del campo escalar de densidad.

Este ajuste es para nubes de puntos abiertas (como terrenos o datos LIDAR) debido a que la reconstrucción Poisson puede generar fallos en regiones con poca densidad de puntos. En nuestro caso solo dio fallos en una zona céntrica de Jaén, pero este proceso se lo aplicamos a todas las celdas. Para usar el ajuste en CloudCompare se puede filtrar la malla basándose en la densidad de los puntos:

1. Seleccionar la malla resultante.
2. En las propiedades, localizar la sección "SF display params".
3. Ajustar el valor mínimo de densidad para ocultar automáticamente los triángulos más alejados de la nube de puntos original.
4. Si se desea conservar únicamente los triángulos visibles, usar la opción "Edit > Scalar Fields > Filter by Value" para crear una nueva malla limpia.

4. **Exportación del Modelo 3D:** Una vez obtenida la malla final, es importante filtrar por RGB para que quede con colores, de esa manera se puede ver como ha quedado el producto acabado. Se puede exportar en formatos compatibles con software de modelado 3D y análisis geoespacial, como OBJ, PLY, STL o FBX. Un punto negativo de CloudCompare es que no mantiene los colores RGB, por tanto, a pesar de poder verse con los colores dentro de CloudCompare, una vez sea exportando en otros formatos, no tendrá ningún color.

Una vez exportado en un formato compatible con Unity, el modelo ya está listo para ser renderizado por el programa de realidad aumentada y será este el modelo usado en la aplicación final.

El archivo importado dentro de Unity se puede ver en la siguiente imagen:

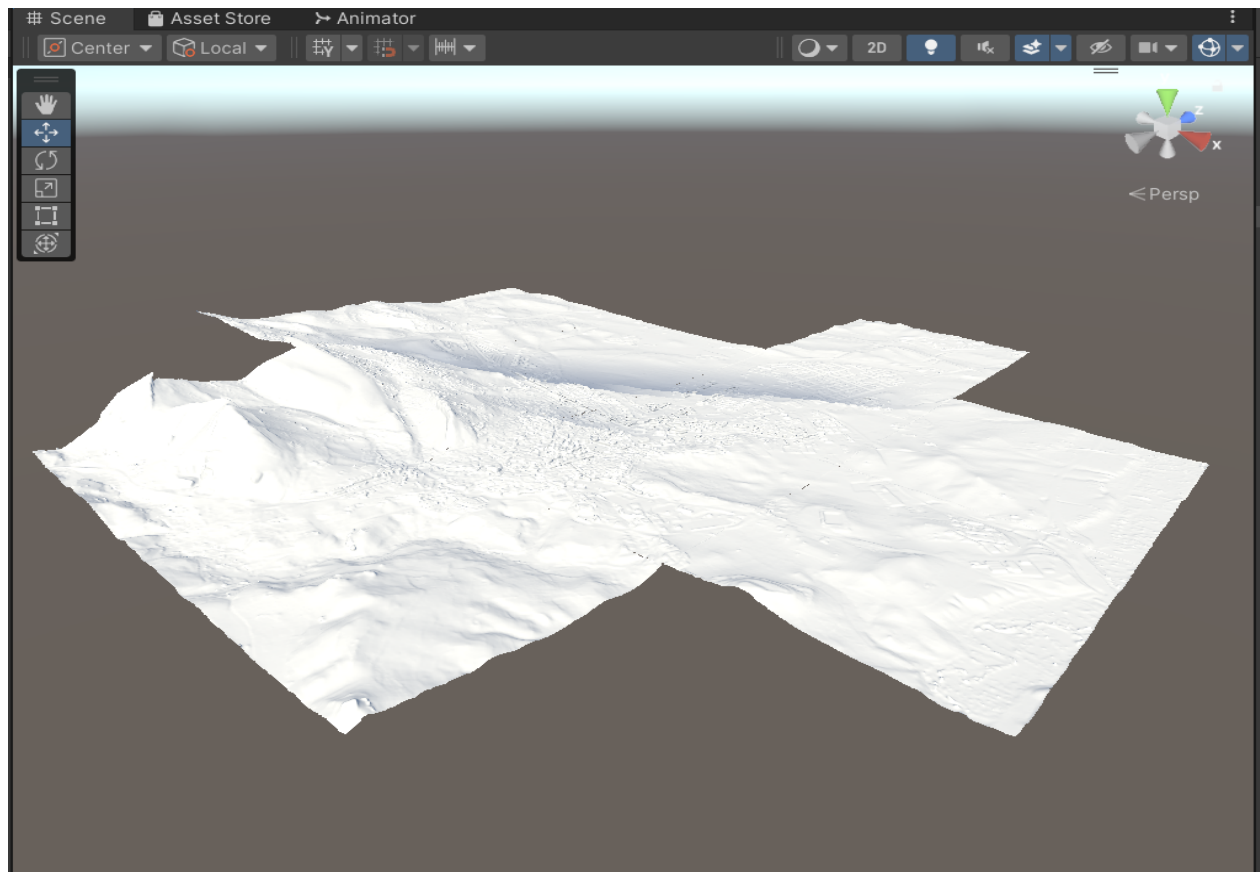


Figura 26: Modelo 3D realista importado a Unity

Una vez obtenido ambos modelos, ya se podía empezar a programar gran parte de la funcionalidad de la aplicación. En un primer momento se optó por superponer formas rectangulares en 3D encima de los lugares turísticos de la

ciudad, estas formas serían interactivas y permitirían al usuario saber dónde se puede pulsar en el mapa y, por tanto, que monumentos se podían ver.

Aunque esta idea se acabó descartando, el primer prototipo hecho se hizo con esta funcionalidad de formas rectangulares por el mapa. Un vistazo al primer prototipo de cómo se debería de ver la aplicación es el siguiente:

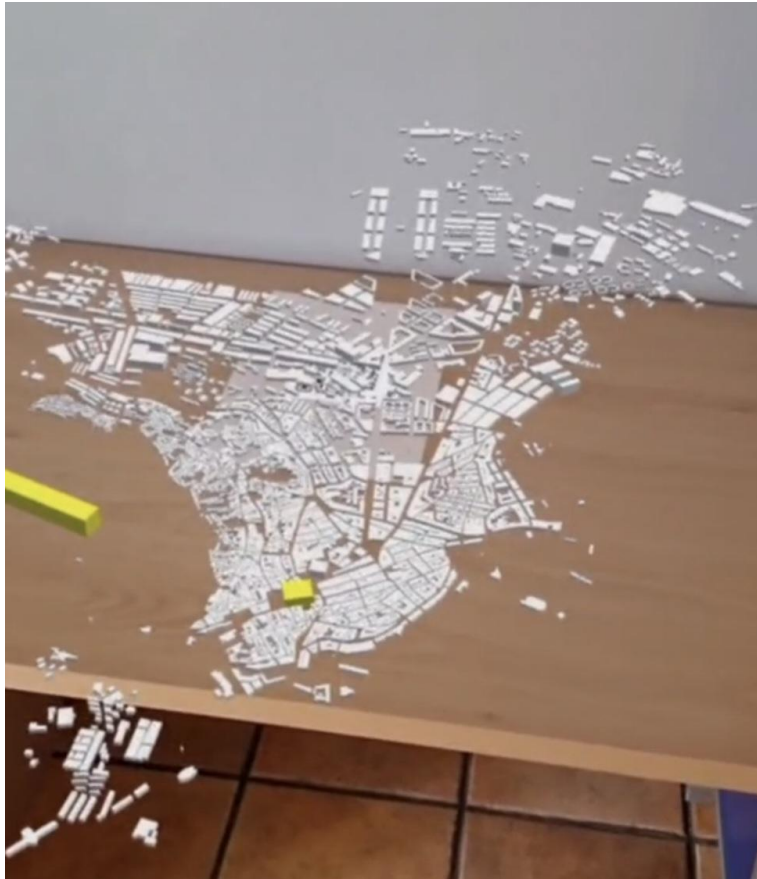


Figura 27: Prototipo de aplicación descartada

4.4 Iteración 4: Agregado de realidad virtual

En la cuarta y última iteración se ha hecho la implementación del apartado de realidad virtual. Para ello se han agregado unos botones con forma de flecha encima de cada lugar turístico del mapa 3D. Estos botones tienen forma de flecha para que sea más visual e intuitivo a la hora de saber dónde pulsar en el modelo.

El sistema será capaz de saber en qué lugar del mapa está pulsando el usuario gracias al *Raycast*. [20] La idea general de este método es crear un rayo que se proyecta desde el mismo dispositivo con la misma inclinación del propio móvil para que este rayo acabe “chocando” con algo. Si este choque se produce con el suelo o pared de la habitación no ocurrirá nada, pero si se produce con algún elemento de la realidad aumentada entonces Unity será capaz de percibir dicho choque y mandar la correspondiente respuesta. En este caso, como cada botón tiene un id distinto, al pulsar sobre un botón cualquiera, Unity sabrá sobre cual se ha pulsado y cual debe de ser la información contextual que debe cargar.

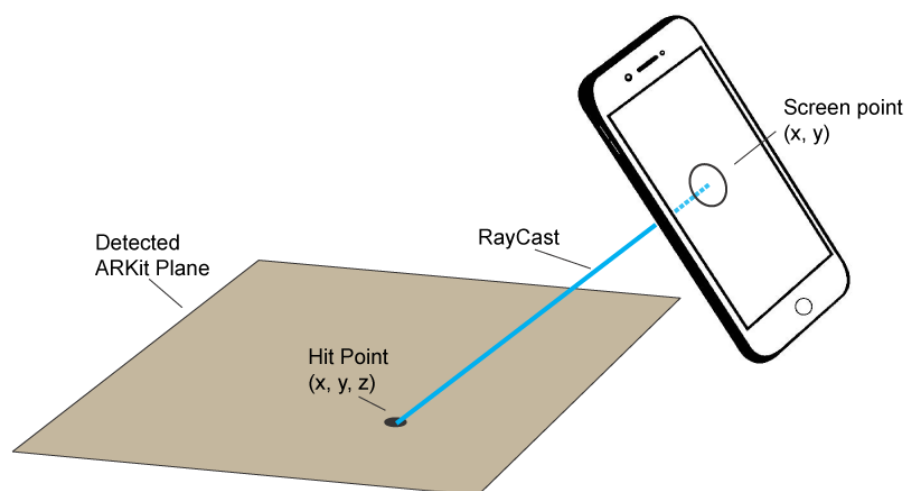


Figura 28: Funcionamiento básico del Raycast

Los botones activarán una nueva escena de Unity al ser pulsados, dicha escena estará vacía, pero se le agregará una imagen panorámica a su skybox, imitando así la funcionalidad de una imagen de 360°. Con un código de C# hecho en un script se ha podido detectar las pulsaciones del usuario en la pantalla y que la misma cámara se mueva acorde esos movimientos del usuario, de esa manera se podrá mover por toda la panorámica.

Para poder sacar una imagen de 360° se ha usado un programa llamado “Street View Download”. El funcionamiento de este programa es muy simple, se le pasa una URL de una calle de la página web *Google Street View*, eliges la calidad de la imagen y donde quieres descargarla.

Este es un ejemplo de calle que se puede visualizar desde *Google Maps*:

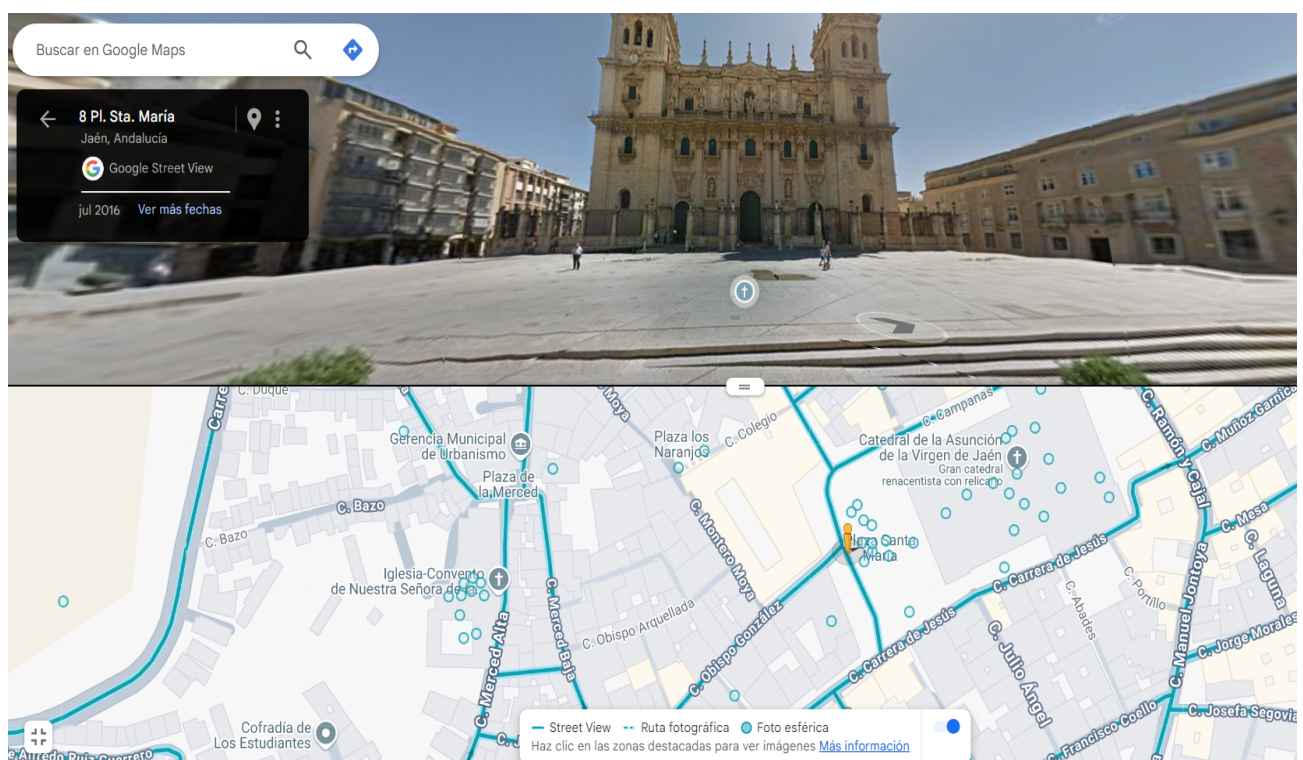


Figura 29: Calle vista en 360° desde Google Street View

Una vez estando en el lugar del que queremos obtener su imagen panorámica de 360°, basta con copiar la URL de la página. Ahora solo hay que abrir el programa mencionado, pegar dicho enlace y descargar la imagen.

Una de las imágenes panorámicas de 360° que se ha usado dentro de la aplicación es la calle de la Catedral de Jaén, de manera virtual es una buena forma de visualizar de un primer vistazo toda la zona y espectacularidad del monumento, por lo que los turistas podrán saber rápidamente si incluir dicho monumento dentro de su ruta predeterminada de viaje.

La panorámica mencionada es la siguiente:



Figura 30: Panorámica descargada del programa Street View Download

La aplicación final resultante, incluido los botones sobre el modelo 3D y la interfaz que aparece al pulsar sobre alguno de las flechas que indican el lugar turístico es el siguiente:



Figura 31: Aplicación de realidad aumentada final

5. Conclusión y trabajos futuros

5.1 Conclusión

El desarrollo de la aplicación móvil de Realidad Aumentada (RA) para la exploración interactiva de la ciudad de Jaén ha demostrado ser una solución innovadora y efectiva en el ámbito del turismo digital. A lo largo del proceso de desarrollo, se integraron diversas tecnologías avanzadas como Unity, Vuforia y CloudCompare, permitiendo la generación de una experiencia inmersiva basada en mapas tridimensionales y marcadores de realidad aumentada.

El uso de una nube de puntos proveniente del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y su conversión a una malla 3D mediante CloudCompare fueron pasos clave para obtener un modelo realista del entorno urbano. Además, la incorporación de imágenes panorámicas de 360 grados permitió mejorar la experiencia del usuario, facilitando una exploración visual intuitiva de los principales puntos de interés.

Uno de los mayores logros del proyecto ha sido la combinación de Realidad Aumentada, Realidad Virtual y Modelado 3D en un único entorno digital accesible para turistas. Sin embargo, como en todo desarrollo tecnológico, existen aspectos susceptibles de mejora y optimización en futuras versiones del sistema.

5.2 Mejoras en trabajos futuros

Para futuros desarrollos y mejoras del proyecto, se pueden plantear las siguientes optimizaciones y ampliaciones funcionales tanto para este proyecto de TFG como para cualquier otro ambientado también en las tecnologías inmersivas mencionadas como la Realidad Aumentada:

- **Optimización del rendimiento:** La aplicación puede beneficiarse de mejoras en la gestión de memoria y optimización de modelos 3D para reducir la carga en dispositivos móviles, logrando una experiencia más fluida.
- **Incorporación de más datos geoespaciales:** Se podría añadir información geográfica adicional, como datos meteorológicos en tiempo real o rutas turísticas personalizadas basadas en preferencias del usuario.
- **Compatibilidad con más plataformas:** Actualmente, la aplicación está diseñada para dispositivos móviles, pero una futura extensión a gafas de Realidad Aumentada permitiría una experiencia aún más inmersiva.
- **Implementación de una interfaz más intuitiva:** La experiencia del usuario podría mejorarse con una navegación más fluida y opciones de accesibilidad para personas con discapacidades visuales o motoras.
- **Integración de Inteligencia Artificial:** Se podría incluir un asistente virtual basado en IA para responder preguntas de los turistas en tiempo real y proporcionar recomendaciones personalizadas.
- **Expansión a otras ciudades:** El modelo desarrollado para Jaén podría replicarse y adaptarse a otras ciudades, permitiendo una aplicación escalable y de mayor alcance.

Otras posibles mejoras más específicas en un futuro para este mismo proyecto pueden ser las siguientes:

- **Selección de tamaño para el modelado:** A la hora de visualizar el mapa, este tiene un tamaño fijo, esto puede ser incómodo para los usuarios que quieren visualizar el mapa en una mesa de un tamaño incierto o para los usuarios que no tienen muy buena vista. Un botón o Slider para modificar el tamaño del mapa puede llegar a ser conveniente y fácil de implementar en un proyecto

como este.

- **Menú inicial con opciones:** Es muy común que las aplicaciones tengan un menú al inicio antes de ejecutarse la aplicación principal, esto es debido a que este inicio forma parte de una interfaz estandarizada, por lo que los usuarios pueden entender que este menú sirve para cambiar el brillo dentro de la aplicación, quitarle sonidos a los botones, quitar la música en el caso que tuviera, seleccionar un idioma cualquiera, etc.

Bibliografía

- [1] Jurado-Rodríguez, D., Muñoz-Salinas, R., Garrido-Jurado, S., & Medina-Carnicer, R. (2021). Design, detection, and tracking of customized fiducial markers. *IEEE Access*, 9, 140066-140078. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3118049>
- [2] Liu, S., Xie, J., & Wang, X. (2023). QoE enhancement of the industrial metaverse based on Mixed Reality application optimization. *Displays*, 79, 102463. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2023.102463>
- [3] Jurado, D., Jurado, J. M., Ortega, L., & Feito, F. R. (2021). GEUINF: real-time visualization of indoor facilities using mixed reality. *Sensors*, 21(4), 1123. <https://doi.org/10.3390/s21041123>
- [4] Russo, M. (2021). AR in the Architecture Domain: State of the Art. *Applied Sciences*, 11(15), 6800. <https://doi.org/10.3390/app11156800>
- [5] Realidad Aumentada en el turismo - Imascono. Imascono. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://imascono.com/aplicaciones-de-la-realidad-aumentada-en-el-turismo/>
- [6] El diagrama de PERT: qué es y cómo crearlo (incluye ejemplos) [2025] • Asana. Asana. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://asana.com/es/resources/pert-chart>
- [7] Blender GIS Add On. (2022). [Video]. YouTube. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=u2uril3JKkQ>

[8] Crea códigos QR gratis con nuestro generador. (2025). Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://es.qr-code-generator.com/>

[9] Engine Developer Portal. (2025). Home. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://developer.vuforia.com/home>

[10] HP Victus 15-fb0006ns AMD Ryzen 5 5600H/8GB/512GB SSD/GTX 1650/15.6". (2025). PcComponentes.com. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://www.pccomponentes.com/hp-victus-15-fb0006ns-amd-ryzen-5-5600h-8gb-512gb-ssd-gtx-1650-156>

[11] Inesdi. (2025). ¿Cuáles son las diferencias entre realidad virtual y realidad aumentada? Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://www.inesdi.com/blog/realidad-aumentada-y-realidad-virtual-diferencias/>

[12] Jorge. (2023, 30 de marzo). La Realidad Aumentada llega a Zaragoza a través de un proyecto pionero en Europa. Enjoy Zaragoza. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://www.enjoyzaragoza.es/artes-conectado-imascono/>

[13] Kraus, S., Kanbach, D. K., Krysta, P. M., Steinhoff, M. M., & Tomini, N. (2022). Facebook and the creation of the metaverse: Radical business model innovation or incremental transformation? International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research, 28(9), 52-77. <https://doi.org/10.1108/IJEBr-12-2021-0984>

[14] La tecnología de la Realidad Virtual consiste en inmersión. (2025). Innovae. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://www.innovae.com/la-tecnologia-de-realidad-virtual/>

[15] Briones, E. (2023, 21 de abril). Meta cancela los proyectos de Metaverso y comienza a enfocarse en Reels e Inteligencia artificial. Yahoo Finance. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://es-us.finanzas.yahoo.com/noticias/meta-cancela-proyectos-metaverso-comienza-173800844.html>

[16] Vanian, J., & Levy, A. (2023, 1 de febrero). Meta Lost \$13.7 Billion on Reality Labs in 2022 as Zuckerberg's Metaverse Bet Gets Pricier. CNBC. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://www.cnbc.com/2023/02/01/meta-lost-13point7-billion-on-reality-labs-in-2022-after-metaverse-pivot.html>

[17] Morison, H. (2024, 5 de septiembre). 2024: The Future of Immersive Experiences with AR and VR Technology. Next World. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://www.nextworldxr.com/post/2024-the-future-of-immersive-experiences-with-ar-and-vr-technology>

[18] Centro Nacional de Información Geográfica, Instituto Geográfico Nacional. (2025). Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://pnoa.ign.es/>

[19] Pan, Z., Cheok, A. D., Yang, H., Zhu, J., & Shi, J. (2006). Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers & Graphics*, 30(1), 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2005.10.004>

[20] Pietroszek, K. (2024). Raycasting in Virtual Reality. En N. Lee (Ed.), *Encyclopedia of Computer Graphics and Games* (pp. 1534-1536). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23161-2_180

[21] Sala, N. (2021). Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality in Education: A Brief Overview. En Current and Prospective Applications of Virtual Reality in Higher Education (pp. 48-73). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4960-5.ch003>

[22] Talent.com. (2025). Salario para Ingeniero Informático en España - Salario Medio. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de <https://es.talent.com/salary>

[23] Tecnología inmersiva. (2024, 12 de noviembre). Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado el 13 de febrero de 2025, de https://es.wikipedia.org/wiki/Tecnología_inmersiva