
Diseñar e implementar una experiencia y una interfaz de usuario intuitiva y funcional para una aplicación de recorrido con realidad aumentada en el Parque Arqueológico Kaminaljuyú, con la finalidad de fomentar la interacción, el interés histórico y cultural así como la accesibilidad del patrimonio arqueológico

Josué Isaac Morales González



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Trabajo de graduación presentado por Josué Isaac Morales González
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias
de la Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

2025

Vo.Bo.:

(f) _____
M. Ed. Dennis Moritz Aldana Moscoso

Tribunal Examinador:

(f) _____
M. Ed. Dennis Moritz Aldana Moscoso

(f) _____
Mgtr. Inga. Dulce Chacón

(f) _____
[NOMBRE DEL SEGUNDO EXAMINADOR]

Fecha de aprobación: Guatemala, _____ de _____ de 2025.

Prefacio

Este trabajo representa la culminación de un esfuerzo colectivo e individual que no habría sido posible sin el apoyo y la dedicación de personas excepcionales que me acompañaron en este camino.

Agradezco profundamente a mis compañeros de equipo, quienes con su compromiso y talento hicieron posible que este proyecto cobrara vida. A Carlos López, por su trabajo en la integración de modelos en la aplicación, esencial para dar vida a las reconstrucciones digitales. A Brian Carrillo, cuyo trabajo en la implementación del sistema de geolocalización fue fundamental para anclar la experiencia digital al espacio físico del parque. A Marco Ramírez, quien dedicó incontables horas al modelado tridimensional de las estructuras arqueológicas, logrando reconstrucciones que honran el patrimonio cultural guatemalteco. A Luz Coronado, cuya visión estratégica en la gestión y el análisis de recursos aseguró la viabilidad del proyecto. A Claudia Velásquez, cuya investigación arqueológica aportó el rigor histórico necesario para que el contenido fuera fiel a la realidad de Kaminaljuyú. Trabajar junto a ustedes fue un privilegio y una experiencia de aprendizaje invaluable.

A mi asesor de tesis, M. Ed. Dennis Moritz Aldana Moscoso, por su guía constante, su paciencia y sus valiosas retroalimentaciones que enriquecieron cada etapa de esta investigación. Sus enseñanzas trascendieron lo académico y me formaron como profesional.

A la Mgtr. Inga. Dulce Chacón, por acompañarnos durante este proceso con su experiencia, su apertura al diálogo y su compromiso con la excelencia académica. Su presencia fue un pilar fundamental en el desarrollo de este trabajo.

A mi padre, Raúl Morales, por haberme permitido llegar hasta este momento. Tu esfuerzo y sacrificio son la base sobre la que construí este logro. A mi madre, Amelia González, por haber sido un apoyo incondicional durante toda mi vida, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por enseñarme el valor de la perseverancia. A mis hermanos, David Morales y Helen Morales, por ser ejemplos a seguir, grandes compañeros de vida y una fuente constante de motivación. Los admiro profundamente.

Finalmente, agradezco al Parque Arqueológico Kaminaljuyú por ser la inspiración de este proyecto. Espero que esta aplicación contribuya, aunque sea modestamente, a preservar y difundir el invaluable patrimonio cultural que Guatemala resguarda.

Índice

Prefacio	III
Lista de figuras	VII
Lista de cuadros	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1. Trabajos previos relacionados	2
2.2. Tecnologías existentes	2
2.3. Limitaciones de los enfoques actuales	2
2.4. Oportunidades identificadas	2
3. Justificación	3
4. Objetivos	5
4.1. Objetivo general	5
4.2. Objetivos específicos	5
5. Alcance	6
5.1. Alcance del proyecto	6
5.2. Limitaciones	6
5.3. Supuestos	6
5.4. Restricciones	6
5.5. Entregables	6
6. Marco teórico	7
6.1. Realidad Aumentada como Herramienta para la Mediación del Patrimonio Cultural	7

6.2. Principios de Experiencia de Usuario (UX) y Diseño de Interfaz de Usuario (UI)	7
6.3. Contexto Espacial y Diseño Interactivo	8
7. Metodología	9
7.1. Investigación de usuarios	9
7.2. Definición de requerimientos	9
7.3. Diseño de prototipos	10
7.4. Implementación técnica	10
7.5. Pruebas de usabilidad	10
7.6. Elaboración de reporte de implementación	10
8. Resultados	11
8.1. Prototipos desarrollados	11
8.1.1. Prototipos de alta fidelidad	11
8.2. Aplicación implementada	11
8.2.1. Pantalla principal e inicio	11
8.2.2. Instrucciones y términos de uso	11
8.2.3. Modos de recorrido	16
8.2.4. Integración de realidad aumentada	16
8.2.5. Puntos de interés adicionales	20
8.2.6. Contenido informativo y educativo	20
8.2.7. Navegación y finalización de recorrido	25
8.3. Funcionalidades implementadas	25
8.4. Resultados de pruebas de usabilidad	29
8.4.1. Hallazgos principales	29
8.5. Validación de objetivos	30
9. Análisis de resultados	31
9.1. Interpretación de los resultados	31
9.2. Comparación con objetivos planteados	31
9.3. Fortalezas de la solución	31
9.4. Limitaciones encontradas	31
9.5. Lecciones aprendidas	31
9.6. Impacto del proyecto	31
10. Discusión de resultados	32
10.1. Discusión de hallazgos principales	32
10.2. Implicaciones teóricas	32
10.3. Implicaciones prácticas	32
10.4. Comparación con trabajo relacionado	32
10.5. Contribuciones del trabajo	32
10.6. Limitaciones del estudio	32
11. Bibliografía	33

12. Anexos	35
12.1. Anexo A: Código fuente	35
12.2. Anexo B: Diagramas técnicos	35
12.3. Anexo C: Documentación adicional	35
12.4. Anexo D: Datos experimentales	35

Lista de figuras

1.	Prototipos de alta fidelidad desarrollados para la aplicación	12
2.	Prototipo de alta fidelidad - Mapa interactivo y geolocalización	13
3.	Pantalla principal de la aplicación con acceso a las funcionalidades principales	14
4.	Pantallas de instrucciones y términos de uso de la aplicación	15
5.	Pantallas de modos de recorrido	16
6.	Montículo 3 - Visualización AR e información	17
7.	Información detallada del Montículo 5	18
8.	Información detallada del Montículo 6	19
9.	Montículo 7 - Múltiples vistas AR e información	20
10.	Información detallada del Montículo 8	21
11.	Montículo 12 - Visualización AR e información	22
12.	Montículo 13 - Visualización AR e información	23
13.	Montículo 14 - Visualización AR e información	24
14.	Estructura E y Acrópolis - Visualización AR e información	25
15.	Puntos de interés de referencia para orientación	26
16.	Ejemplo de pantalla de información detallada de montículo arqueológico . . .	27
17.	Navegación y finalización del recorrido	28
18.	Resultados de pruebas de usabilidad - Métricas de facilidad de uso	29
19.	Resultados de pruebas de usabilidad - Evaluación de interfaz y navegación . .	29
20.	Resultados de pruebas de usabilidad - Calidad visual y valor educativo	30

Lista de cuadros

Resumen

Durante la realización de este proyecto se diseñó e implementó una aplicación móvil de recorrido con Realidad Aumentada (RA) orientada al Parque Arqueológico Kaminaljuyú, con el objetivo de mejorar la experiencia del visitante a través de una interfaz intuitiva, accesible y visualmente atractiva. Frente a la falta de señalización contextualizada y la escasa conexión emocional con el sitio, se planteó una solución tecnológica basada en principios de diseño centrado en el usuario (UX) y diseño de interfaz (UI), que permitió enriquecer la interpretación del patrimonio arqueológico.

La aplicación desarrollada para Android integra ARCore Geospatial API para el posicionamiento preciso de modelos tridimensionales de estructuras arqueológicas sobre el entorno real. El sistema implementa un recorrido guiado por 11 puntos de interés con navegación mediante indicadores direccionales, fichas informativas contextuales, e un sistema de proximidad que orienta al usuario dinámicamente. A través de la integración de elementos digitales superpuestos sobre el entorno físico, la aplicación facilitó la comprensión histórica de los montículos y estructuras del parque, al tiempo que promovió la interacción activa del visitante.

La metodología empleada contempló fases de investigación con usuarios reales, definición de requerimientos, prototipado iterativo, desarrollo técnico y pruebas de usabilidad con 17 participantes, todo ello enfocado en garantizar una experiencia fluida, inclusiva y culturalmente significativa. Los resultados de usabilidad demostraron alta efectividad, con promedios entre 4.27 y 4.77 en escalas Likert (1-5) para facilidad de uso, tasas de completitud de tareas del 100 % en funciones críticas, y evaluación positiva del valor educativo (4.18/5.0). Se identificaron áreas de mejora específicas en el mapa en miniatura (64.7 % utilidad) y claridad geométrica de modelos 3D (35.3 % evaluación positiva).

Este enfoque logró fortalecer la conexión del usuario con el pasado precolombino y estableció un modelo replicable para la aplicación de tecnologías emergentes en contextos patrimoniales desde la perspectiva del diseño UX/UI.

Abstract

During the development of this project, a mobile augmented reality (AR) tour application was designed and implemented for the Kaminaljuyú Archaeological Park, aiming to enhance the visitor experience through an intuitive, accessible, and visually appealing interface. In response to the lack of contextual signage and limited emotional connection to the site, a technological solution was developed based on user-centered design (UX) and user interface (UI) principles to enrich the interpretation of the archaeological heritage.

The Android application integrates ARCore Geospatial API for precise positioning of three-dimensional models of archaeological structures over the real environment. The system implements a guided tour through 11 points of interest with navigation via directional indicators, contextual information cards, and a proximity system that dynamically guides the user. By integrating digital elements over the physical environment, the application facilitated historical understanding of the park's mounds and structures, while promoting active visitor engagement.

The methodology involved user research, requirements definition, iterative prototyping, technical development, and usability testing with 17 participants –all focused on delivering a seamless, inclusive, and culturally meaningful experience. Usability results demonstrated high effectiveness, with averages between 4.27 and 4.77 on Likert scales (1-5) for ease of use, 100% task completion rates for critical functions, and positive evaluation of educational value (4.18/5.0). Specific areas for improvement were identified in the minimap (64.7% usefulness) and geometric clarity of 3D models (35.3% positive evaluation).

This approach successfully strengthened the connection between users and the pre-Columbian past and established a replicable model for applying emerging technologies in heritage contexts from a UX/UI design perspective.

CAPÍTULO 1

Introducción

El Parque Arqueológico Kaminaljuyú, ubicado en el corazón de la Ciudad de Guatemala, constituye uno de los sitios más representativos de la civilización maya del período preclásico. A pesar de su valor histórico, arqueológico y cultural, el parque enfrentaba desafíos importantes en cuanto a su interpretación y difusión al público general. La escasa señalización, la falta de contextualización accesible para diversos perfiles de visitantes y la ausencia de herramientas didácticas modernas provocaban una experiencia que resultaba fragmentada y limitada, especialmente para quienes no poseían conocimientos previos sobre la cultura maya.

En este contexto, se identificó que el diseño de experiencias centradas en el usuario (UX) y de interfaces de usuario (UI) que fueran intuitivas, visualmente atractivas y funcionales adquiría un rol esencial para transformar la forma en que se interactúa con el patrimonio arqueológico. La incorporación de tecnologías emergentes, como la Realidad Aumentada (RA), abrió nuevas posibilidades para crear entornos inmersivos que facilitaran la comprensión del entorno físico y su valor histórico. A través de elementos visuales superpuestos al mundo real, la RA permitió reconstruir virtualmente estructuras, narrar historias y ofrecer datos clave en tiempo real, enriqueciendo la exploración del parque de manera significativa.

Este proyecto desarrolló una aplicación de recorrido con tecnología de Realidad Aumentada, diseñada específicamente para Kaminaljuyú, con el objetivo de mejorar la experiencia de los visitantes. El enfoque combinó principios de diseño centrado en el usuario, accesibilidad y usabilidad, buscando fomentar la interacción activa, el interés por el pasado precolombino y el aprecio por el patrimonio cultural del país. Además de facilitar una navegación más informada y atractiva por el parque, la solución logró democratizar el acceso al conocimiento arqueológico, brindando a los usuarios una experiencia educativa y memorable, alineada con las necesidades de los públicos contemporáneos.

CAPÍTULO 2

Antecedentes

2.1. Trabajos previos relacionados

[Describe trabajos, investigaciones o proyectos anteriores relacionados con tu tema]

2.2. Tecnologías existentes

[Menciona las tecnologías, herramientas o metodologías que ya existen en tu área]

2.3. Limitaciones de los enfoques actuales

[Explica qué limitaciones tienen las soluciones existentes]

2.4. Oportunidades identificadas

[Describe las oportunidades que has identificado para mejorar o innovar]

CAPÍTULO 3

Justificación

La preservación y divulgación del patrimonio arqueológico requerían de enfoques innovadores que lograran conectar con las audiencias contemporáneas. En el caso del Parque Arqueológico Kaminaljuyú, uno de los sitios más relevantes de la civilización maya preclásica, persistía una brecha entre el valor histórico del lugar y la manera en que dicho valor era percibido y comprendido por el visitante promedio. Esta desconexión se debía, en gran parte, a la falta de herramientas interpretativas accesibles, visuales y dinámicas que facilitaran la apropiación del conocimiento cultural. Como señalaron [1], la ausencia de recursos virtuales integrados con los elementos reales generaba una significativa brecha interpretativa.

La Realidad Aumentada (RA) había emergido como una tecnología capaz de transformar la interacción entre los usuarios y su entorno físico, integrando contenidos virtuales que enriquecían la experiencia educativa, cultural y turística. Su aplicación en espacios patrimoniales no solo permitía visualizar estructuras antiguas o reconstrucciones históricas, sino que también favorecía la preservación digital del legado cultural y su difusión entre públicos más jóvenes y tecnológicamente familiarizados [2].

En este contexto, el presente proyecto propuso el diseño e implementación de una aplicación de recorrido con RA que respondiera a principios de diseño centrado en el usuario. La iniciativa no se limitó a incorporar tecnología de forma superficial, sino que priorizó la creación de una experiencia coherente y funcional a través de una interfaz de usuario (UI) intuitiva y estética, pensada para facilitar la navegación, el acceso al contenido y la conexión emocional con el sitio arqueológico. Al mismo tiempo, el sistema debía proporcionar a los visitantes del museo o espacio patrimonial una interfaz intuitiva de manera que los usuarios pudieran interactuar con los contenidos digitales de manera fácil y natural, así como lo harían con objetos en el mundo real [3].

Asimismo, el enfoque metodológico del proyecto contempló la iteración constante mediante pruebas de usabilidad con usuarios reales, lo cual permitió validar y mejorar las decisiones de diseño basadas en datos empíricos. Como recomendaron [4], complementar las evaluaciones heurísticas con tests de usuario y refinar el sistema según la retroalimentación obtenida aseguró que la solución final no solo fuera técnicamente viable, sino también relevante, inclusiva y culturalmente pertinente. De esta manera, se contribuyó tanto al fortalecimiento de la experiencia museográfica del parque como al desarrollo de nuevas formas

de acceso al patrimonio mediante tecnología accesible, pedagógica y atractiva.

CAPÍTULO 4

Objetivos

4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una experiencia y una interfaz de usuario intuitiva y funcional para una aplicación de recorrido con realidad aumentada en el Parque Arqueológico Kaminaljuyú, con la finalidad de fomentar la interacción, el interés histórico y cultural así como la accesibilidad del patrimonio arqueológico.

4.2. Objetivos específicos

- Analizar las características y necesidades de los visitantes del parque para establecer los requerimientos de diseño e implementación basados en sus perfiles y expectativas.
- Investigar y aplicar mejores prácticas de UX/UI para tecnologías de realidad aumentada, en la construcción de prototipos y en la posterior implementación de la aplicación.
- Probar y validar la usabilidad en las etapas de desarrollo de prototipos así como luego de la implementación técnica a través de pruebas con usuarios reales, recopilando datos que permitan iterar y perfeccionar la experiencia de uso.
- Desarrollar una guía de implementación y recomendaciones de mejora que, además de responder a las necesidades tecnológicas, promuevan la preservación y divulgación cultural de Kaminaljuyú.

CAPÍTULO 5

Alcance

5.1. Alcance del proyecto

[Define claramente qué incluye tu proyecto]

5.2. Limitaciones

[Especifica qué NO incluye tu proyecto y por qué]

5.3. Supuestos

[Lista los supuestos bajo los cuales desarrollarás tu proyecto]

5.4. Restricciones

[Menciona las restricciones técnicas, temporales, económicas o de otro tipo]

5.5. Entregables

[Lista los productos finales que entregarás al completar el proyecto]

CAPÍTULO 6

Marco teórico

6.1. Realidad Aumentada como Herramienta para la Mediación del Patrimonio Cultural

La Realidad Aumentada (RA) se había consolidado como una herramienta poderosa para la interpretación y mediación del patrimonio cultural. Su capacidad para superponer elementos digitales en tiempo real sobre el entorno físico permitía ofrecer nuevas formas de explorar, aprender y conectar con sitios históricos. En particular, permitía crear experiencias interactivas que iban más allá de la simple observación, fomentando una participación activa del visitante en la reconstrucción y comprensión del pasado. Estas experiencias, al combinar información textual, visual y auditiva, promovían un aprendizaje multisensorial que respondía a las distintas formas de percepción y comprensión del usuario.

En sitios como Kaminaljuyú, donde gran parte de las estructuras originales habían sido erosionadas por el tiempo o estaban fragmentadas, la RA cumplía una función de restauración virtual", al posibilitar la visualización de contextos arqueológicos en su estado original o hipotético. Esto no solo enriquecía la visita, sino que también democratizaba el acceso al conocimiento al eliminar barreras interpretativas que solían estar presentes en espacios museográficos tradicionales. Sin embargo, la eficacia de la RA como mediadora cultural no se encontraba únicamente en su capacidad tecnológica, sino en el modo en que esta tecnología se diseñaba e implementaba para el usuario final [5]. La mediación efectiva requería una narrativa cohesionada, una integración visual armónica con el entorno y una accesibilidad funcional que contemplara la diversidad de perfiles de los visitantes.

6.2. Principios de Experiencia de Usuario (UX) y Diseño de Interfaz de Usuario (UI)

La integración exitosa de tecnología RA en entornos patrimoniales no podía desvincularse del diseño centrado en el usuario (DCU), ya que el objetivo principal era facilitar la comprensión del contenido y generar una experiencia significativa. Este enfoque reconocía que las personas interactuaban con los sistemas tecnológicos desde diversos niveles de co-

nocimiento, expectativas y habilidades. Por ello, diseñar una experiencia de usuario eficaz implicaba considerar desde el inicio aspectos como la accesibilidad, la claridad del flujo de navegación, el tiempo de respuesta del sistema y la estética de la interfaz.

En este contexto, el diseño de UX se enfocaba en garantizar que la interacción fuera intuitiva, agradable y que mantuviera la atención del visitante, mientras que el diseño de UI se encargaba de traducir esa experiencia en elementos visuales consistentes y funcionales. El equilibrio entre estos dos componentes era crucial, especialmente en contextos donde el usuario se desplazaba físicamente por el espacio, como ocurría en parques arqueológicos [6].

Para el caso de Kaminaljuyú, esto implicaba una interfaz que no solo fuera informativa y visualmente armónica, sino que también se adaptara al entorno físico real. Esto se logró mediante el uso de íconos reconocibles, navegación guiada basada en la geolocalización del usuario, alertas contextuales sobre puntos de interés y la personalización del contenido según el perfil del visitante (por ejemplo, nivel educativo o idioma). Según [7], una arquitectura de la información bien estructurada era esencial para evitar la sobrecarga cognitiva y facilitar una experiencia fluida. Asimismo, [8] destacaron la importancia de integrar recorridos optimizados que respondieran a distintos intereses, como el histórico, educativo o turístico.

6.3. Contexto Espacial y Diseño Interactivo

En aplicaciones de RA, el diseño no se limitaba a lo visual: se trataba también de definir cómo y cuándo ocurría la interacción con el contenido digital. La colocación espacial de objetos aumentados, el momento exacto de aparición y la forma en que se invitaba al usuario a interactuar eran aspectos determinantes para una experiencia exitosa. Aquí entraba en juego el diseño contextual, que permitía adaptar la experiencia a las condiciones específicas del entorno —iluminación, ruido, obstáculos físicos— y del usuario —como edad, movilidad, conocimiento previo.

Tecnologías como ARCore Geospatial API permitían anclar contenido digital en ubicaciones geográficas precisas, pero su verdadero valor se manifestaba cuando esa precisión se traducía en una experiencia narrativa coherente. Por ejemplo, al llegar a una estructura parcialmente conservada, el sistema podía superponer una reconstrucción digital solo si detectaba que el usuario estaba en el ángulo adecuado y que había completado cierta secuencia lógica del recorrido. Este tipo de microinteracciones no solo enriquecían la experiencia, sino que también fomentaban una exploración activa y no lineal del sitio [2].

Un diseño bien logrado lograba que el contenido digital pareciera una extensión natural del entorno, sin distracciones ni rupturas en la experiencia. Para ello, era fundamental que el sistema respondiera con fluidez, minimizara los errores de anclaje y se mantuviera funcional incluso con limitaciones de conectividad o condiciones ambientales adversas. El desafío no era únicamente tecnológico, sino también narrativo y humano: transformar datos arqueológicos en historias vivas, accesibles y memorables.

CAPÍTULO 7

Metodología

Esta investigación siguió una metodología cualitativa basada en el enfoque de diseño centrado en el usuario. Este enfoque buscó que algunas personas que usarían la aplicación participaran en las distintas etapas del proyecto, para asegurar que el resultado final se adaptara bien a sus necesidades, expectativas y capacidades. El objetivo fue crear una aplicación de recorrido con Realidad Aumentada (RA) para el Parque Arqueológico Kaminaljuyú que fuera fácil de usar, llamativa y útil. A continuación, se describen las etapas del proceso:

7.1. Investigación de usuarios

La primera etapa consistió en conocer mejor a los visitantes del parque y entender cómo era actualmente su experiencia. Para ello se utilizaron dos métodos principales:

- **Observaciones en campo**, donde se anotó cómo se comportaban los visitantes, por dónde caminaban, qué lugares llamaban más su atención y cómo interactuaban con el entorno.
- **Entrevistas semiestructuradas**, que se realizaron a distintos tipos de visitantes para conocer qué esperaban de su visita, qué les interesaba, qué dificultades encontraban y qué opinaban del parque.

Luego, toda esta información se organizó y se buscaron patrones o ideas comunes que ayudaron a definir mejor el diseño de la aplicación.

7.2. Definición de requerimientos

Con base en los hallazgos anteriores, se establecieron los requerimientos que debía cumplir la aplicación. Estos se dividieron en:

- **Requerimientos funcionales**, es decir, lo que la aplicación debía hacer.
- **Requerimientos de diseño**, que tenían que ver con la experiencia de uso y la apariencia.

7.3. Diseño de prototipos

En esta fase se realizaron versiones iniciales del diseño de la aplicación, primero más simples (baja fidelidad) y luego más completas (alta fidelidad), usando herramientas como Figma. Esto incluyó:

- La organización del contenido y navegación.
- El diseño visual, eligiendo colores, letras y botones que transmitieran sensaciones como calma, interés o claridad.
- La simulación de recorridos, para imaginar cómo usaría una persona la app durante su visita y comprobar que todo estuviera bien ordenado.

7.4. Implementación técnica

Esta etapa incluyó la programación de la aplicación utilizando tecnologías de RA. Aquí se desarrolló la app usando la API Geoespacial de ARCore, lo que permitió colocar modelos en 3D en lugares reales dentro del parque, como los montículos. También se cuidó que la app funcionara bien en celulares y que cargara rápido.

7.5. Pruebas de usabilidad

Durante y después del desarrollo se realizaron pruebas con usuarios reales para comprobar si la aplicación era clara, útil y agradable. Se llevaron a cabo:

- **Pruebas en el parque**, con personas que usaron versiones preliminares de la app.
- **Observaciones y entrevistas** después del uso para saber qué funcionó y qué se podía mejorar.
- **Revisión de métricas básicas**, como cuánto tiempo usaban la app, si lograban completar los recorridos o si encontraban errores.

Los resultados permitieron hacer cambios y mejorar el diseño antes de finalizar el proyecto.

7.6. Elaboración de reporte de implementación

Como cierre, se elaboró un reporte que recopiló:

- Todo el proceso de diseño y desarrollo de la app.
- Las prácticas que funcionaron bien en cuanto a experiencia de usuario e interfaz.
- Consejos para futuras versiones y para aplicar esta solución en otros parques o sitios culturales.

CAPÍTULO 8

Resultados

El desarrollo e implementación de la aplicación de recorrido con Realidad Aumentada (RA) para el Parque Arqueológico Kaminaljuyú permitió validar la efectividad del diseño centrado en el usuario (UX/UI) aplicado a contextos patrimoniales. A lo largo del proceso se evidenció que la integración entre los elementos técnicos, visuales y funcionales tuvo un impacto directo en la comprensión y el interés del usuario hacia el contenido arqueológico.

8.1. Prototipos desarrollados

8.1.1. Prototipos de alta fidelidad

Durante las fases de diseño se desarrollaron prototipos detallados que definieron la estructura visual y funcional de la aplicación. Estos prototipos sirvieron como base para la implementación técnica y permitieron validar las decisiones de diseño antes del desarrollo.

8.2. Aplicación implementada

Durante las fases de diseño y pruebas, la interfaz se consolidó como un componente clave en la experiencia del visitante. Las pantallas principales demostraron una estructura clara y coherente con los principios de usabilidad.

8.2.1. Pantalla principal e inicio

La pantalla principal proporciona acceso directo a las funcionalidades del recorrido, con una interfaz que refleja la identidad cultural del sitio arqueológico.

8.2.2. Instrucciones y términos de uso

El flujo de onboarding incluye instrucciones claras sobre el uso de la aplicación, controles de realidad aumentada y términos y condiciones que facilitan la comprensión del funcionamiento.

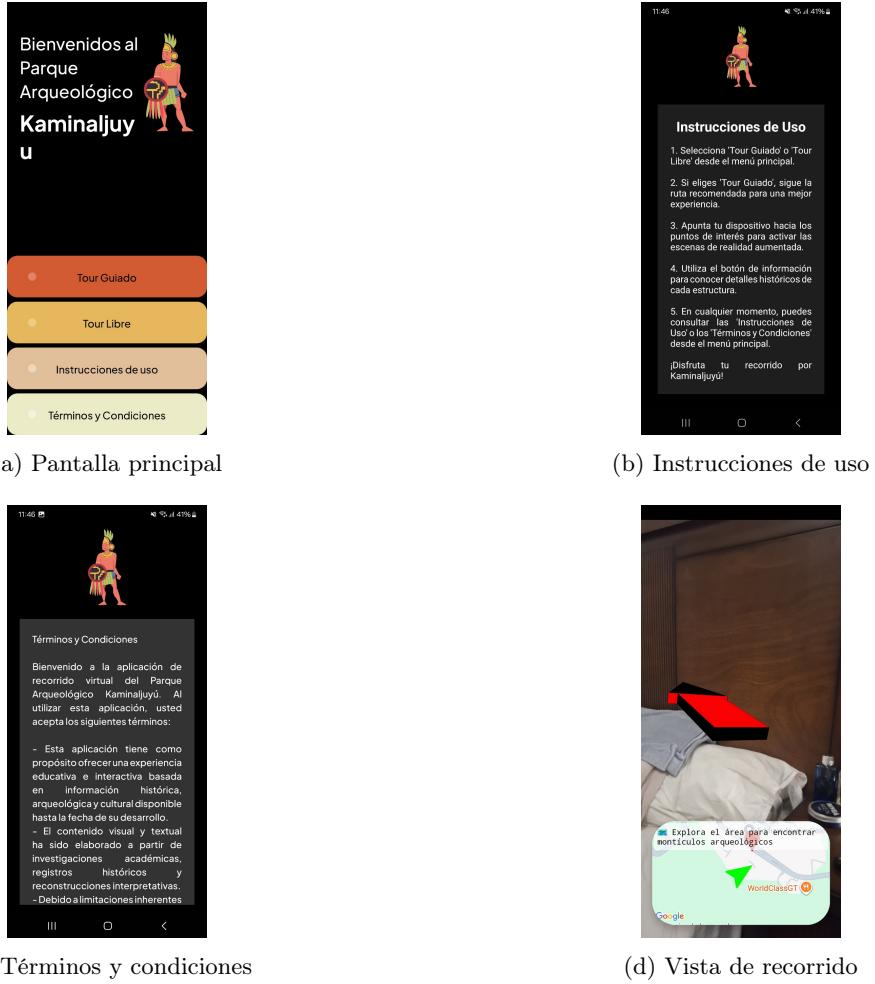


Figura 1: Prototipos de alta fidelidad desarrollados para la aplicación

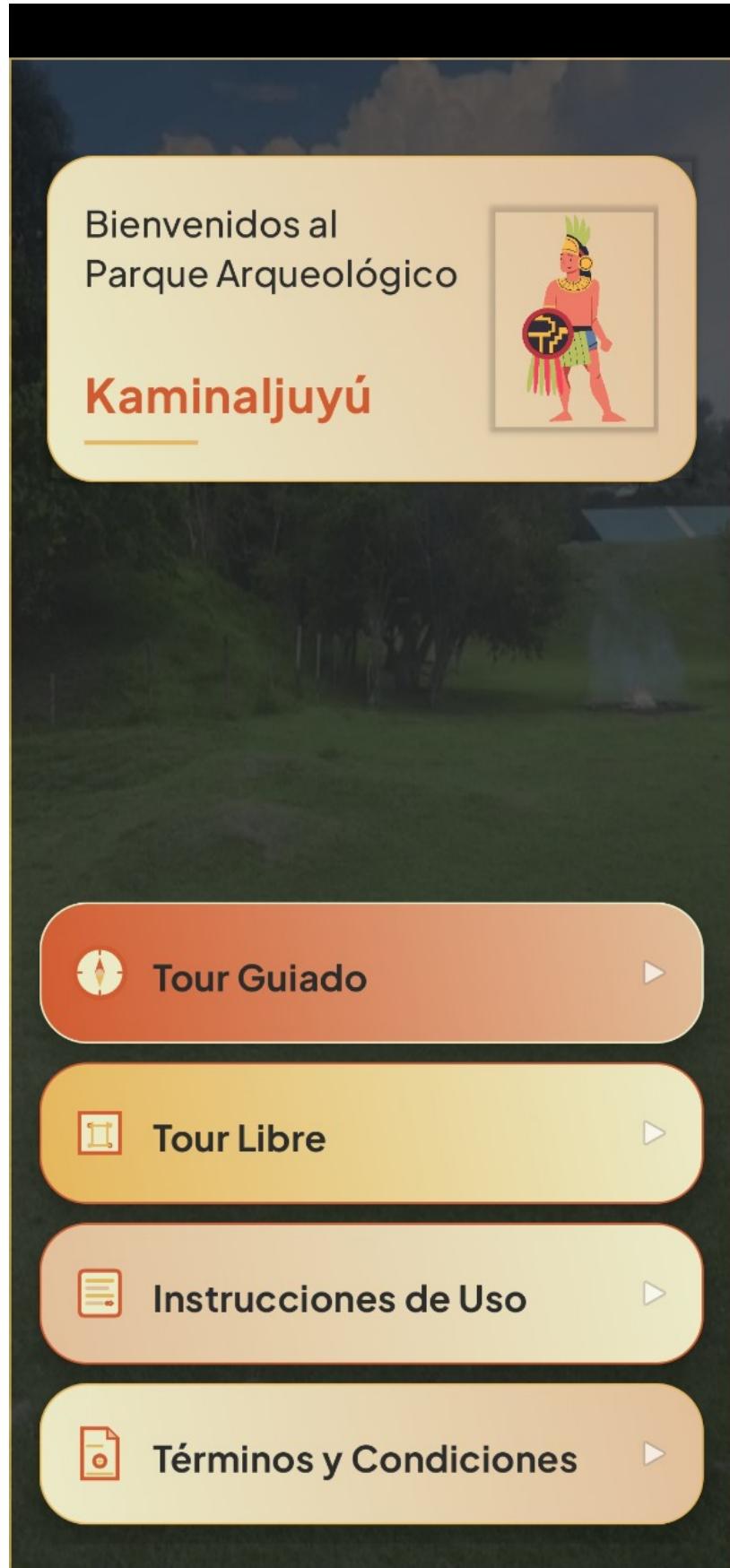


Figura 2: Prototipo de alta fidelidad | 3 Mapa interactivo y geolocalización



Figura 3: Pantalla principal de la aplicación con acceso a las funcionalidades principales

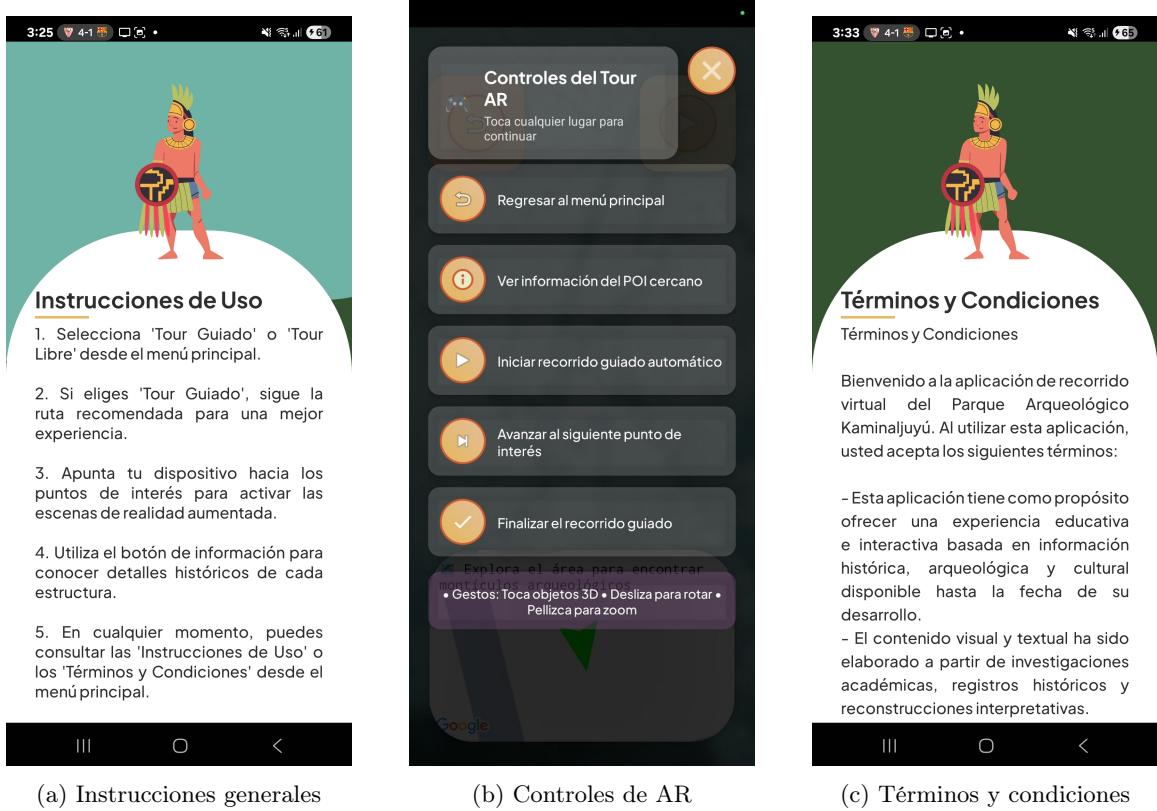
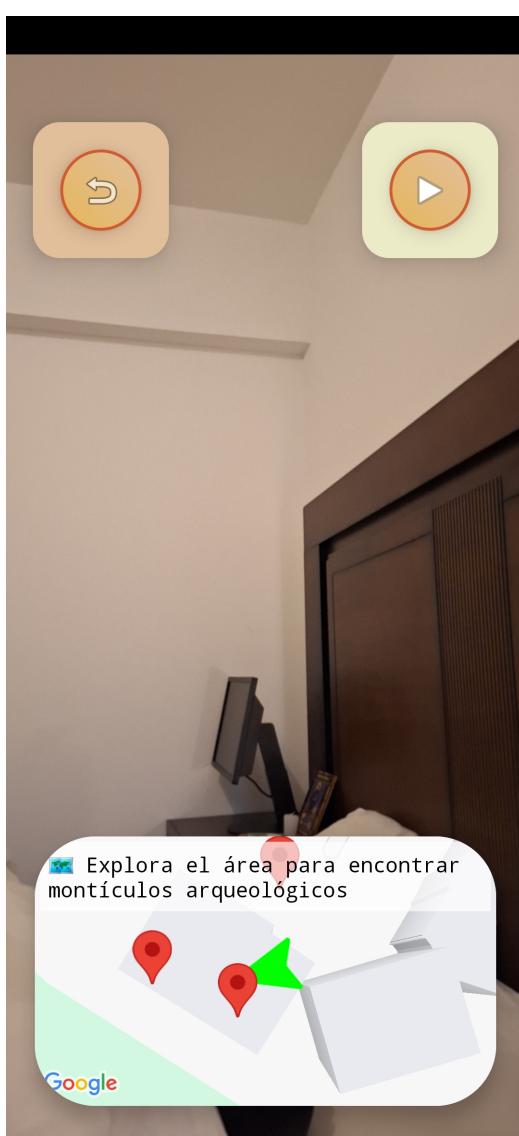


Figura 4: Pantallas de instrucciones y términos de uso de la aplicación

8.2.3. Modos de recorrido

Los modos de recorrido —"Tour Guiadoz "Tour Libre"— respondieron adecuadamente a las diferentes preferencias de exploración del usuario, brindando tanto estructura como libertad de descubrimiento.



(a) Pantalla de inicio de recorrido



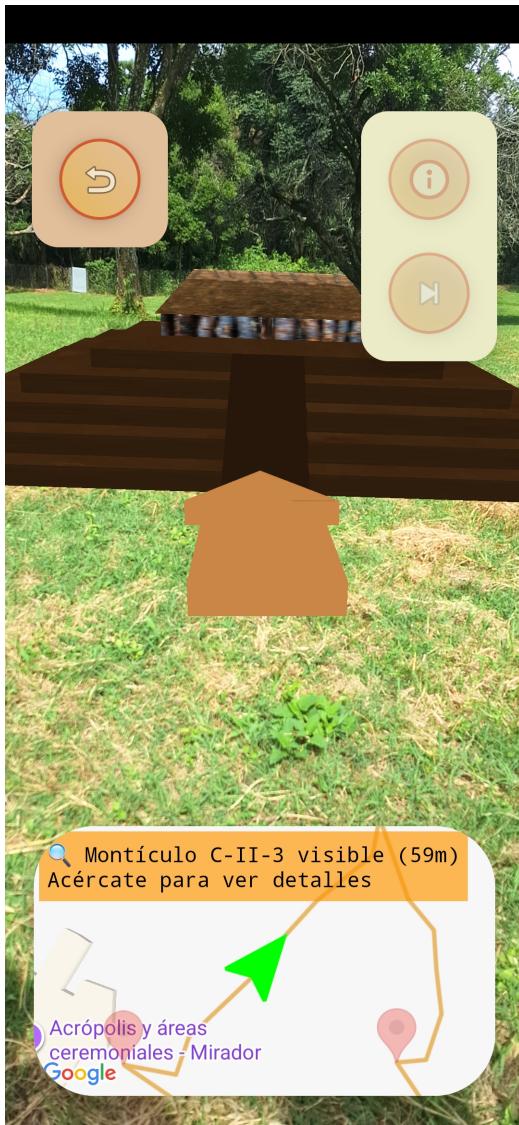
(b) Información inicial del recorrido

Figura 5: Pantallas de modos de recorrido

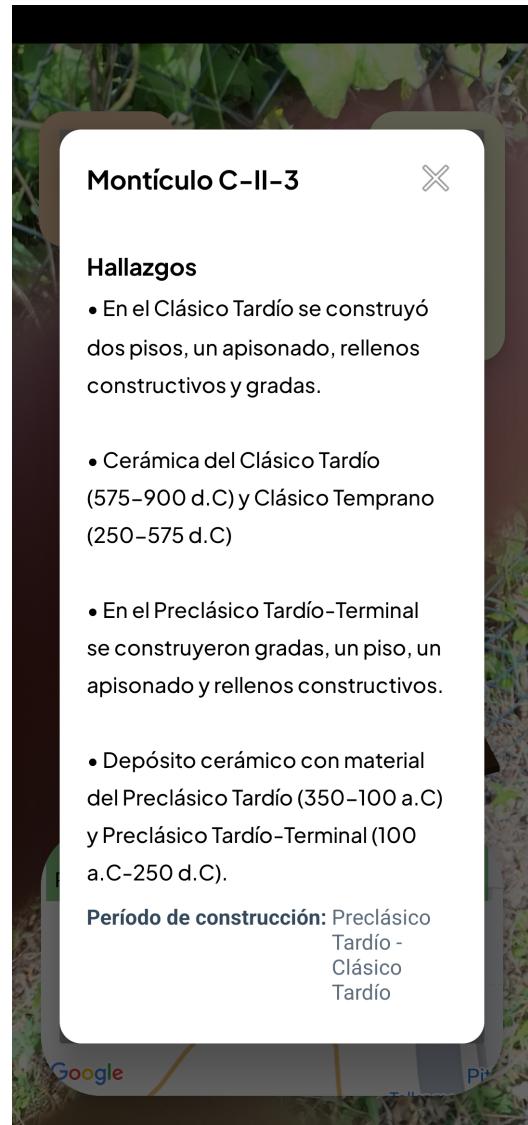
8.2.4. Integración de realidad aumentada

La integración de la RA permitió visualizar modelos tridimensionales de los montículos arqueológicos superpuestos al entorno real. A continuación se presentan visualizaciones de diversos montículos del parque.

Montículo 3



(a) Vista AR del Montículo 3



(b) Información del Montículo 3

Figura 6: Montículo 3 - Visualización AR e información

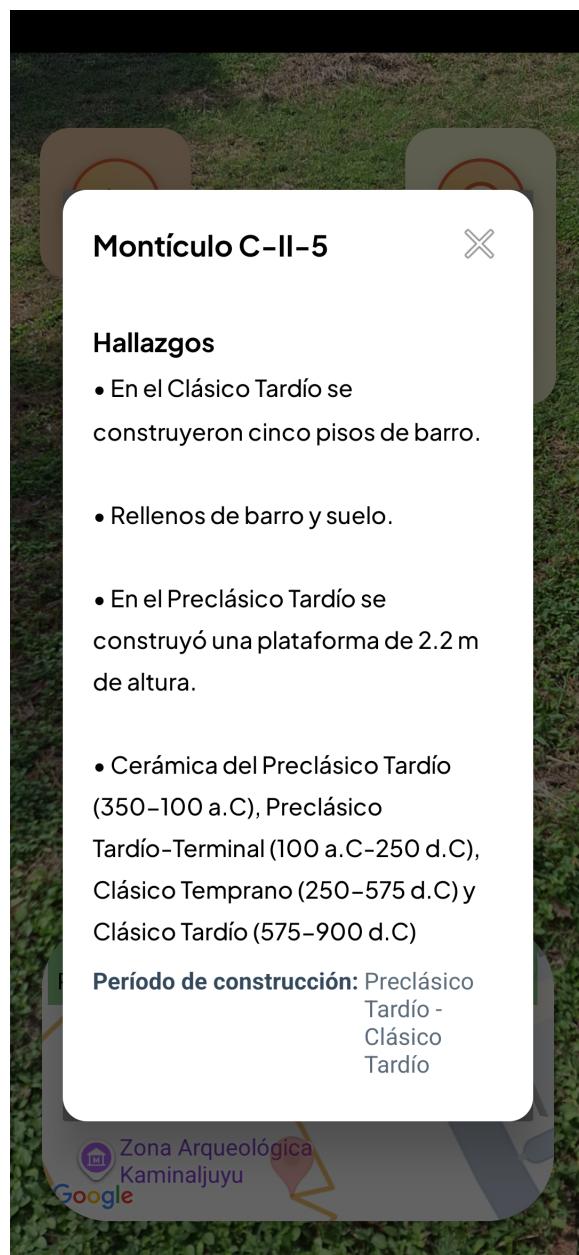


Figura 7: Información detallada del Montículo 5

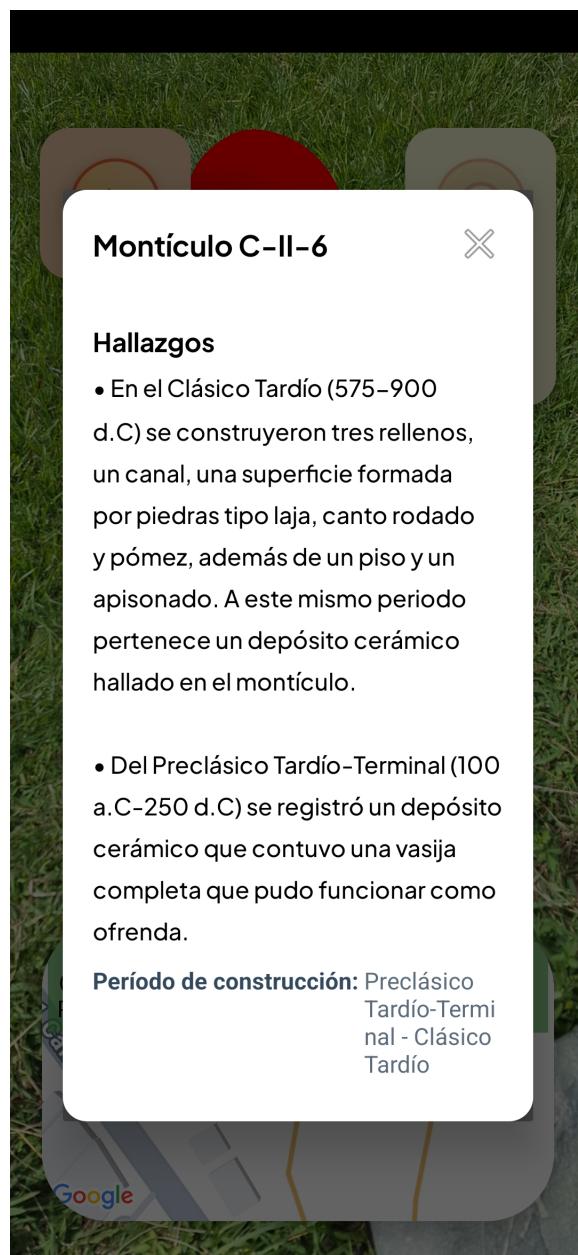


Figura 8: Información detallada del Montículo 6

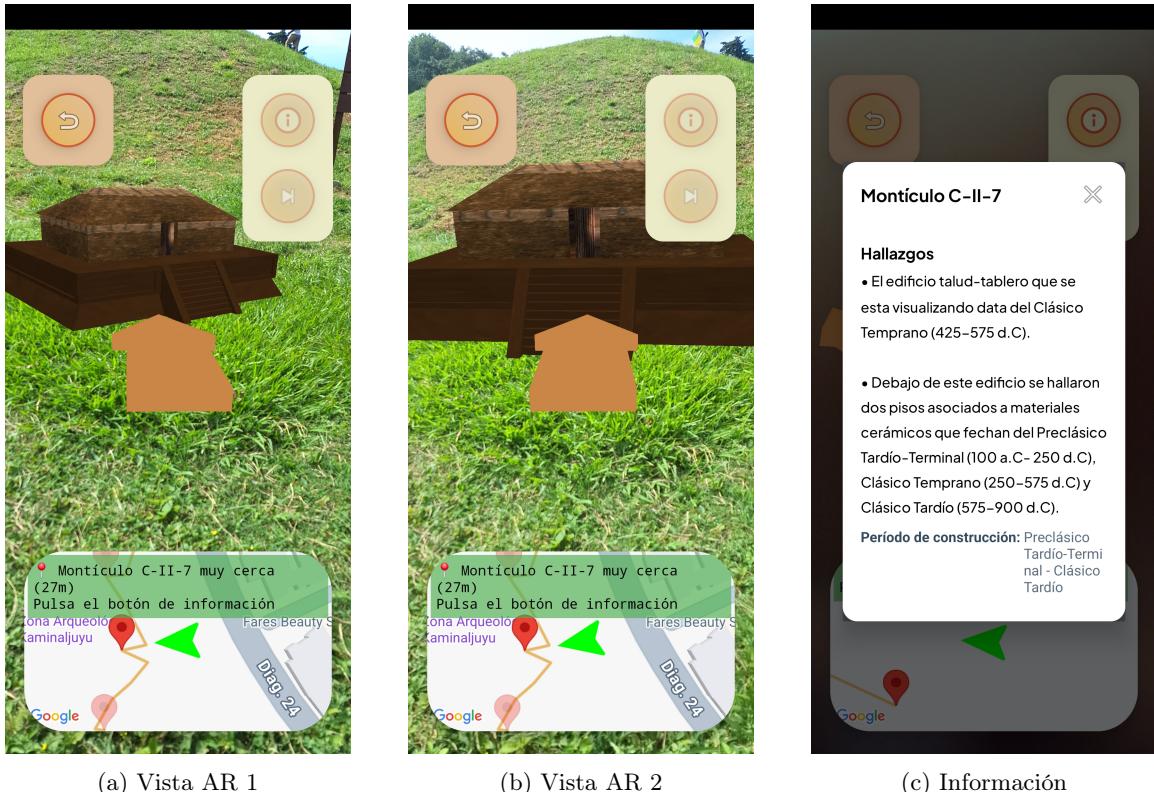


Figura 9: Montículo 7 - Múltiples vistas AR e información

Montículo 5

Montículo 6

Montículo 7

Montículo 8

Montículo 12

Montículo 13

Montículo 14

Estructura E y Acrópolis

8.2.5. Puntos de interés adicionales

La aplicación incluye puntos de interés de referencia que ayudan al usuario a orientarse durante el recorrido.

8.2.6. Contenido informativo y educativo

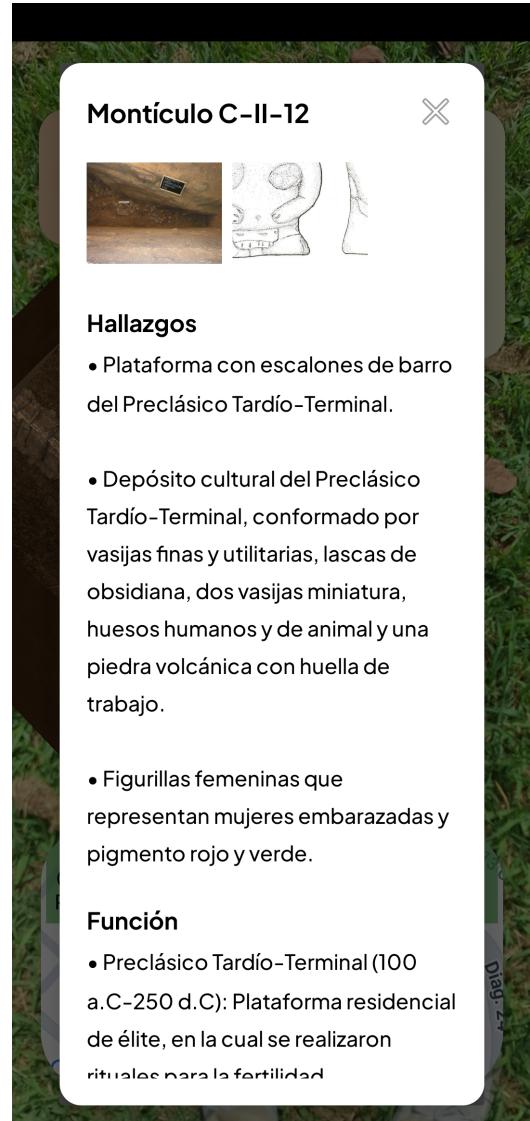
El botón de información asociado a cada punto de interés permitió acceder a fichas arqueológicas detalladas que incluyen historia, características y significado cultural, reforzando la conexión entre la tecnología y la educación patrimonial.



Figura 10: Información detallada del Montículo 8

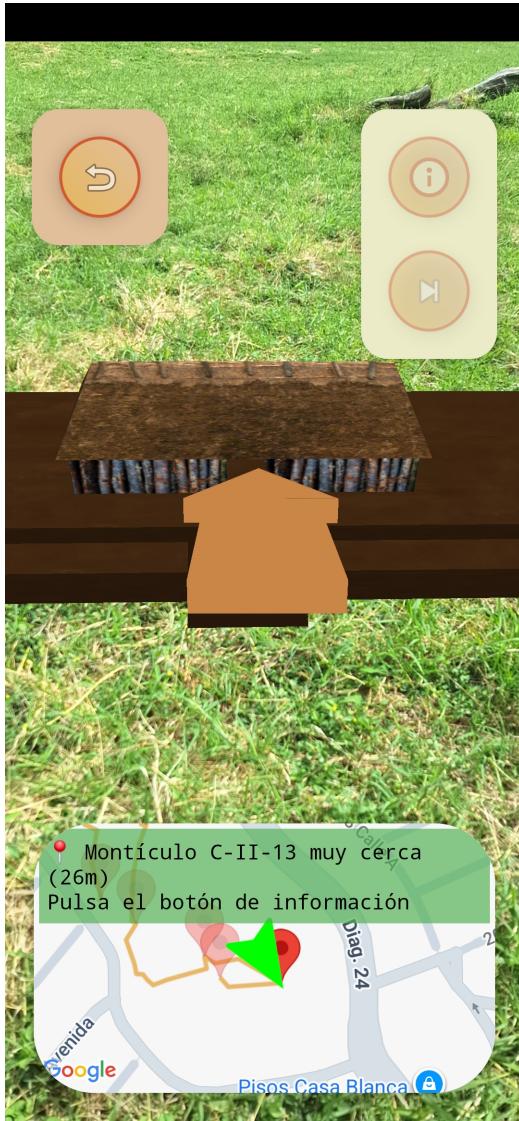


(a) Vista AR del Montículo 12



(b) Información del Montículo 12

Figura 11: Montículo 12 - Visualización AR e información

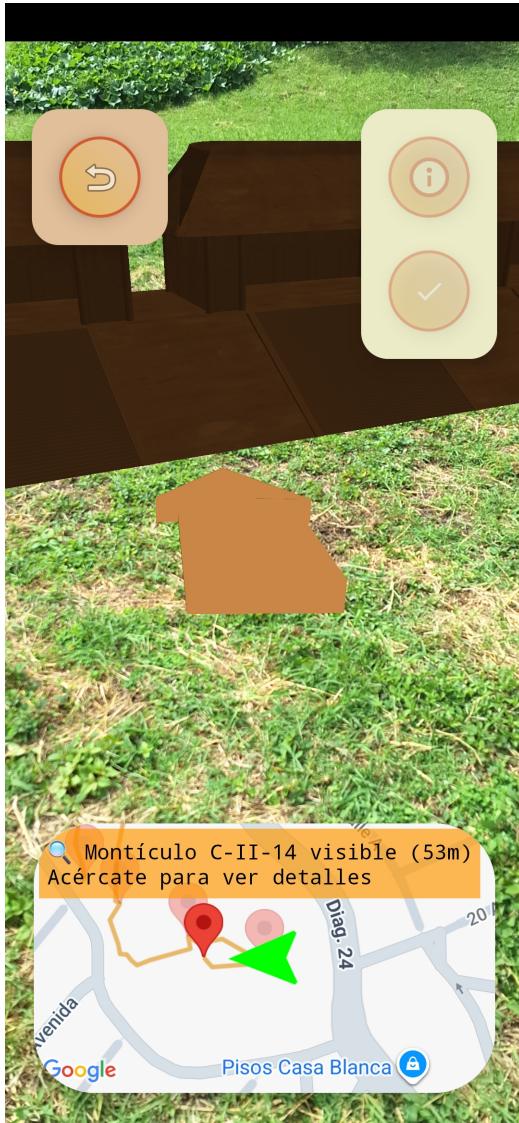


(a) Vista AR del Montículo 13

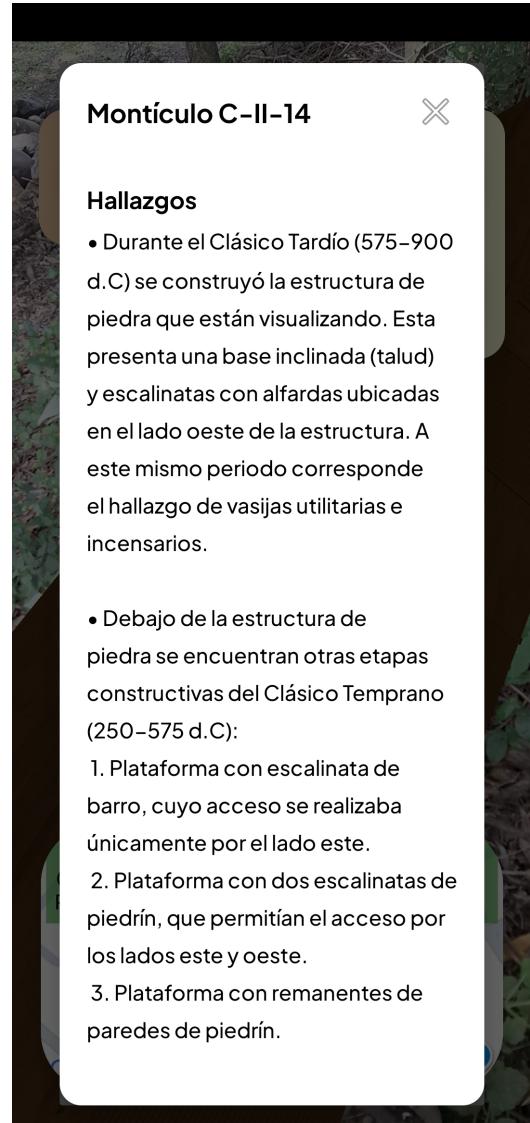


(b) Información del Montículo 13

Figura 12: Montículo 13 - Visualización AR e información



(a) Vista AR del Montículo 14



(b) Información del Montículo 14

Figura 13: Montículo 14 - Visualización AR e información

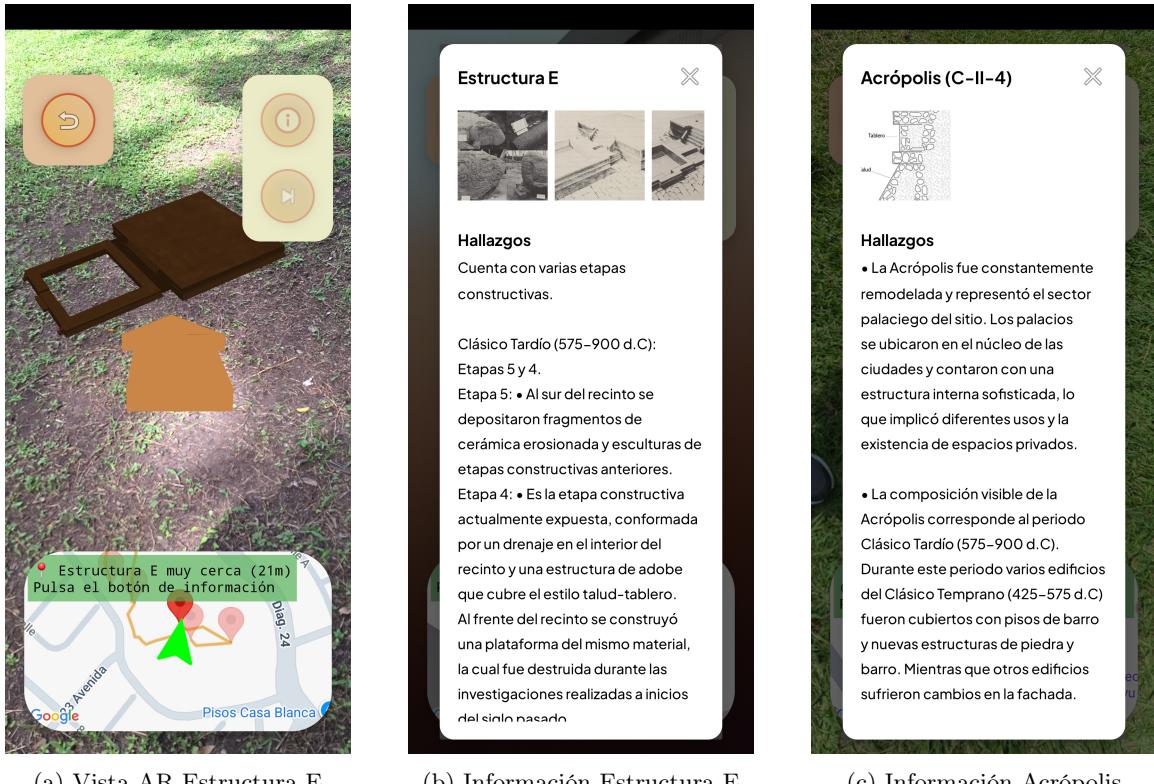


Figura 14: Estructura E y Acrópolis - Visualización AR e información

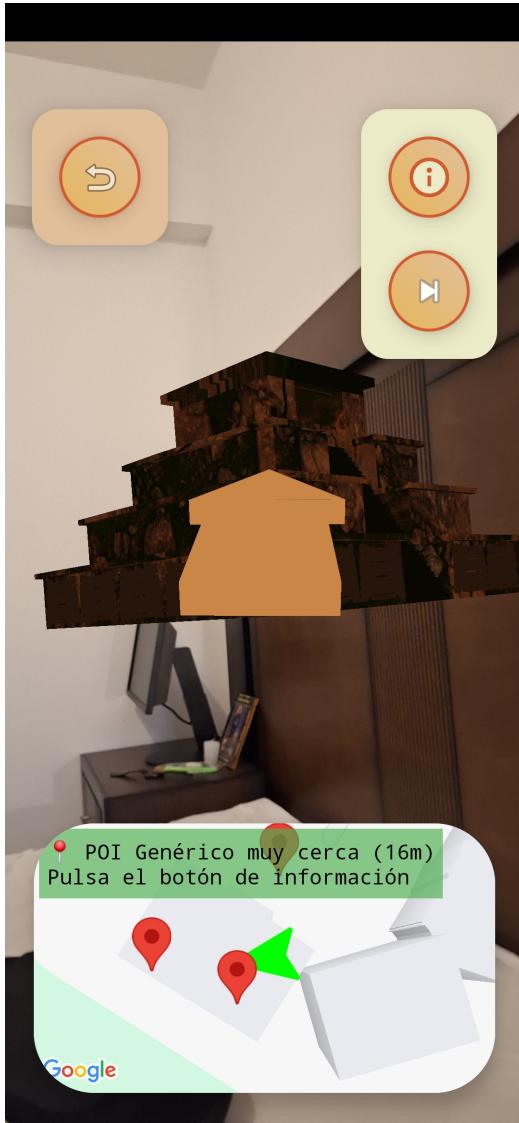
8.2.7. Navegación y finalización de recorrido

La incorporación de mapas interactivos con geolocalización facilitó la orientación espacial dentro del parque, guiando al usuario hacia los puntos de interés mediante indicadores visuales y mensajes contextuales.

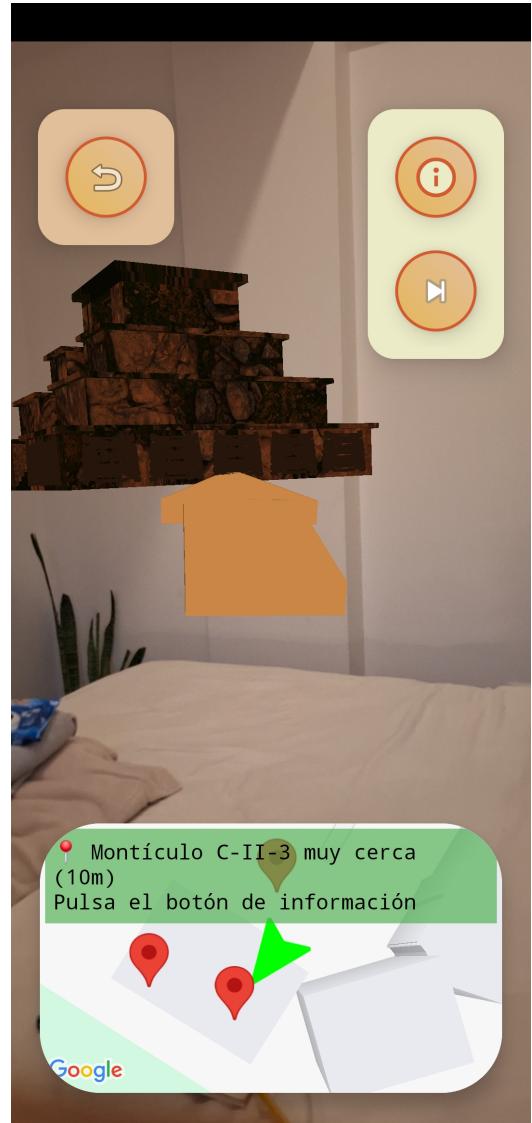
8.3. Funcionalidades implementadas

La correcta anclación de los objetos digitales mediante la API Geoespacial de ARCore evidenció un desempeño técnico estable en entornos controlados. Las funcionalidades principales incluyen:

- **Navegación por realidad aumentada:** Visualización de reconstrucciones 3D de 11 montículos arqueológicos superpuestas al entorno real
- **Sistema de geolocalización:** Posicionamiento preciso dentro del parque usando ARCore Geospatial API
- **Modos de recorrido:** "Tour Guiado" o "Tour Libre" para diferentes preferencias de exploración
- **Contenido contextual:** Fichas arqueológicas detalladas con información histórica y cultural de cada montículo



(a) Vista de punto de interés de referencia

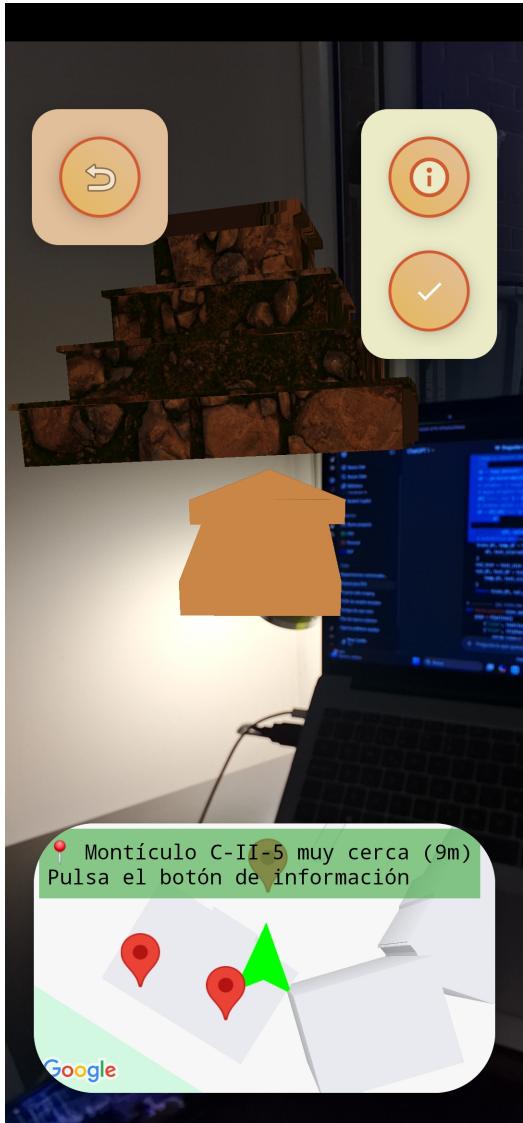


(b) Vista alternativa de punto de interés

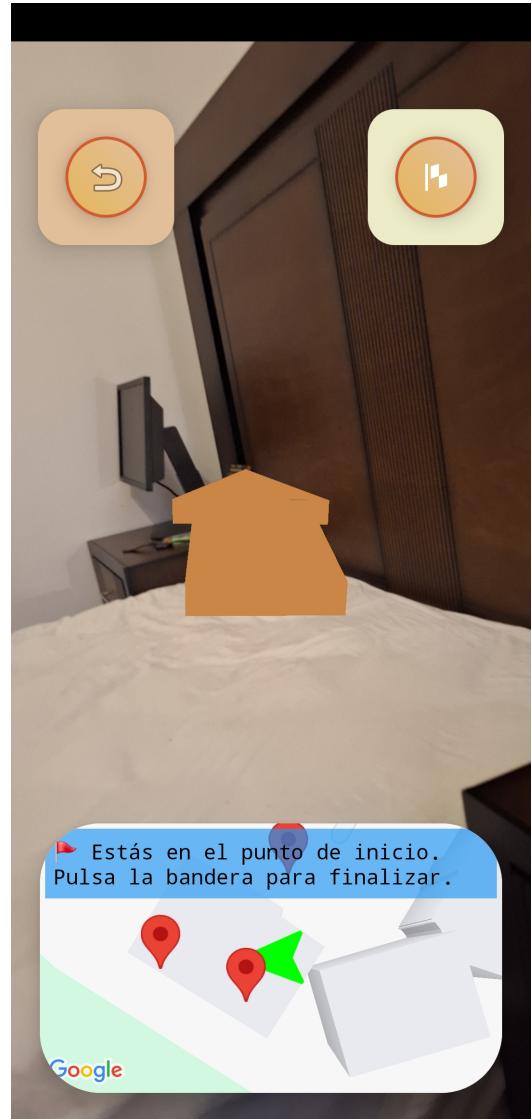
Figura 15: Puntos de interés de referencia para orientación



Figura 16: Ejemplo de pantalla de información detallada de montículo arqueológico



(a) Pantalla del último punto de interés



(b) Pantalla de retorno al inicio

Figura 17: Navegación y finalización del recorrido

- **Interfaz intuitiva:** Diseño centrado en el usuario con tipografía legible y paleta cromática inspirada en tonos arqueológicos
- **Sistema de proximidad:** Indicadores de distancia con estados "visible", cerca "muy cerca"
- **Mapas interactivos:** Orientación espacial con indicadores visuales y mensajes contextuales
- **Manipulación de modelos 3D:** Gestos táctiles para zoom (pinch) y rotación (swipe) de estructuras

8.4. Resultados de pruebas de usabilidad

Se realizaron pruebas de usabilidad con 17 participantes para evaluar la efectividad del diseño implementado. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

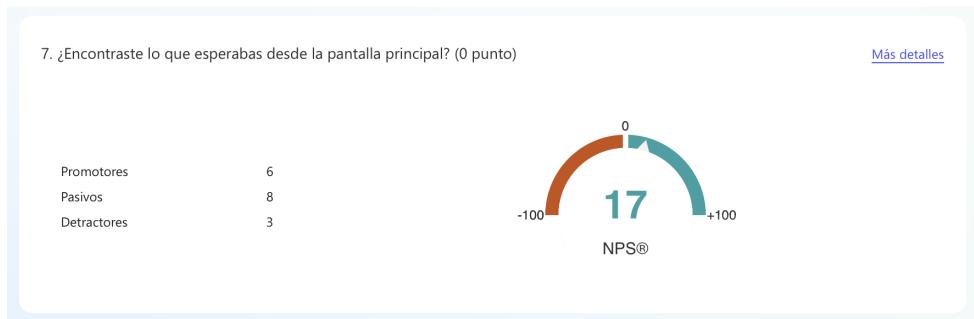


Figura 18: Resultados de pruebas de usabilidad - Métricas de facilidad de uso



Figura 19: Resultados de pruebas de usabilidad - Evaluación de interfaz y navegación

8.4.1. Hallazgos principales

En las pruebas de usabilidad, los usuarios destacaron la facilidad de navegación y la claridad del flujo de interacción, lo cual confirmó la pertinencia del enfoque iterativo del diseño. Los usuarios validaron la efectividad de:

- La elección de tipografía legible y iconografía representativa del contexto cultural

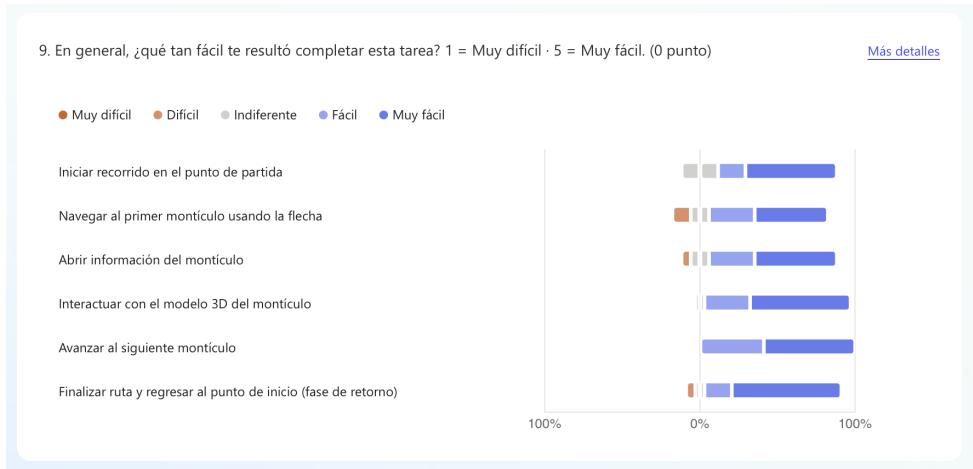


Figura 20: Resultados de pruebas de usabilidad - Calidad visual y valor educativo

- La estructura clara y coherente con los principios de usabilidad
- La facilidad de navegación entre diferentes secciones de la aplicación
- La comprensión intuitiva de las funcionalidades de realidad aumentada
- El valor educativo del contenido arqueológico presentado

Las observaciones permitieron identificar áreas de mejora, principalmente relacionadas con:

- La utilidad percibida del mapa en miniatura (64.7 %, por debajo del umbral de 70 %)
- La claridad geométrica y proporciones de los modelos 3D (35.3 % evaluación positiva)
- La necesidad de ampliar los contenidos multimedia, como audio o video interpretativo
- La precisión de los anclajes AR en entornos amplios

8.5. Validación de objetivos

En términos generales, los resultados obtenidos validaron los objetivos planteados en el proyecto. La aplicación logró integrar eficazmente los principios de UX/UI con tecnologías de realidad aumentada, ofreciendo una experiencia inclusiva, visualmente atractiva y culturalmente significativa.

Los promedios de facilidad de uso entre 4.27 y 4.77 en escala Likert (1-5) superaron el umbral establecido de 4.0, y la tasa de completitud del 100 % en tareas críticas demostró la efectividad del diseño centrado en el usuario. Además, el proyecto demostró el potencial de la RA como medio de mediación patrimonial en Guatemala, estableciendo un precedente replicable para futuros desarrollos en otros sitios arqueológicos y museos.

CAPÍTULO 9

Análisis de resultados

9.1. Interpretación de los resultados

[Analiza e interpreta los resultados obtenidos]

9.2. Comparación con objetivos planteados

[Compara tus resultados con los objetivos iniciales]

9.3. Fortalezas de la solución

[Identifica los puntos fuertes de tu solución]

9.4. Limitaciones encontradas

[Reconoce las limitaciones o debilidades de tu trabajo]

9.5. Lecciones aprendidas

[Describe qué aprendiste durante el desarrollo del proyecto]

9.6. Impacto del proyecto

[Evalúa el impacto real o potencial de tu proyecto]

CAPÍTULO 10

Discusión de resultados

10.1. Discusión de hallazgos principales

[Discute los hallazgos más importantes de tu trabajo]

10.2. Implicaciones teóricas

[Analiza las implicaciones teóricas de tus resultados]

10.3. Implicaciones prácticas

[Describe las implicaciones prácticas de tu trabajo]

10.4. Comparación con trabajo relacionado

[Compara tus resultados con trabajos similares]

10.5. Contribuciones del trabajo

[Explica cuáles son las contribuciones originales de tu proyecto]

10.6. Limitaciones del estudio

[Discute las limitaciones metodológicas o de otro tipo]

CAPÍTULO 11

Bibliografía

- [1] M. F. Gutiérrez, T. R. Martínez, J. M. Vidal, J. M. García, C. M. L. Martínez y F. R. Martínez, “Visor de Realidad Aumentada en Museos (RAM) para Exposiciones Situadas en Entornos Cerrados,” *Virtual Archaeology Review*, vol. 2, n.º 3, pág. 87, 2011. DOI: 10.4995/var.2011.4619. dirección: <https://doi.org/10.4995/var.2011.4619>.
- [2] V. Komianos, A. Tsipis y K. Kontopanagou, “Introducing Digitized Cultural Heritage to Wider Audiences by Employing Virtual and Augmented Reality Experiences: The Case of the v-Corfu Project,” *Technologies*, vol. 12, n.º 196, 2024. DOI: 10.3390/technologies12100196. dirección: <https://doi.org/10.3390/technologies12100196>.
- [3] R. Wojciechowski, K. Walczak, M. White y W. Cellary, “Building Virtual and Augmented Reality museum exhibitions,” en *Proceedings Of The Ninth International Conference On 3D Web Technology*, 2004. DOI: 10.1145/985040.985060. dirección: <https://doi.org/10.1145/985040.985060>.
- [4] D. Quiñones, C. Rusu y V. Rusu, “A methodology to develop usability/user experience heuristics,” *Computer Standards & Interfaces*, vol. 59, págs. 109-129, 2018. DOI: 10.1016/j.csi.2018.03.002. dirección: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.03.002>.
- [5] R. G. Boboc, E. Băutu, F. Gîrbacia, N. Popovici y D.-M. Popovici, “Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications,” *Applied Sciences*, vol. 12, n.º 19, pág. 9859, 2022. DOI: 10.3390/app12199859. dirección: <https://doi.org/10.3390/app12199859>.
- [6] F. Poux, Q. Valembois, C. Mattes, L. Kobbelt y R. Billen, “Initial User-Centered Design of a Virtual Reality Heritage System: Applications for Digital Tourism,” *Remote Sensing*, vol. 12, n.º 16, pág. 2583, 2020. DOI: 10.3390/rs12162583. dirección: <https://doi.org/10.3390/rs12162583>.
- [7] J. J. Garrett, *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*, 2nd. New Riders, 2011.

- [8] A. Ramtohul y K. K. Khedo, “User Experience and Engagement in Augmented Reality Systems for the Cultural Heritage Domain,” en *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*, IGI Global, 2023, págs. 1-25.

CAPÍTULO 12

Anexos

12.1. Anexo A: Código fuente

[Incluye aquí extractos relevantes del código fuente]

12.2. Anexo B: Diagramas técnicos

[Incluye diagramas detallados del sistema]

12.3. Anexo C: Documentación adicional

[Incluye manuales de usuario, instalación, etc.]

12.4. Anexo D: Datos experimentales

[Incluye datos brutos o tablas de resultados detalladas]

