

Aplicación Móvil con Realidad Aumentada para el Centro Histórico de Zacatecas

Development of an Augmented Reality Mobile App for the Historic Center of Zacatecas

Karla M. García-Castillo

Lab. de Tecnologías Interactivas y
Experiencia de Usuario (LITUX)
Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, México
karla.garcia.castillo@uaz.edu.mx

Huizilopoztli Luna-García

Lab. de Tecnologías Interactivas y
Experiencia de Usuario (LITUX)
Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, México
hlugar@uaz.edu.mx

Roberto Solís-Robles

Lab. de Tecnologías Interactivas y
Experiencia de Usuario (LITUX)
Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, México
rsolis@uaz.edu.mx

Hamurabi Gamboa-Rosales

Lab. de Tecnologías
Interactivas y Experiencia de
Usuario (LITUX)
Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, México
hamurabigr@uaz.edu.mx

Cristian Barría-Huidobro

Centro de Investigación en
Ciberseguridad
Universidad Mayor de Chile
Providencia, Chile
cristian.barría@umayor.cl

Klinge O. Villalba-Condori

Vicerrectorado de Investigación
Universidad Católica de Santa
María
Yahuara, Perú
kvillalba@ucsm.edu.pe

Recibido: 12.11.2025 | Aceptado: 24.1.2026

DOI: <https://doi.org/10.65234/interaccion.134>

Palabras Clave

Prototipo
Aplicación Móvil
Realidad Aumentada
Turismo
Diseño Centrado en el Usuario

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo y la evaluación inicial de un prototipo de aplicación móvil basada en Realidad Aumentada (RA) para la visualización de información sobre edificios históricos en el centro de la ciudad de Zacatecas, México, siguiendo un enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU). El objetivo fue diseñar una herramienta interactiva que enriqueciera la experiencia cultural mediante la superposición de información contextual sobre monumentos y el acceso a una agenda de eventos culturales cercanos. El perfil del usuario potencial se definió mediante entrevistas, lo que permitió adaptar el diseño del prototipo a sus necesidades y expectativas. La propuesta fue evaluada mediante pruebas de usabilidad con usuarios reales usando el Sistema de Escalas de Usabilidad (SUS), obteniendo una calificación de 71.5 puntos, correspondiente a una usabilidad aceptable. Además, se recopiló retroalimentación cualitativa que permitió identificar mejoras clave para la evolución del prototipo hacia una aplicación funcional. Pese a que los resultados son promisorios, se reconocen las limitaciones derivadas del uso de un entorno simulado y el alcance de la evaluación, por lo que los hallazgos deben interpretarse como una validación formativa inicial. El prototipo demuestra potencial para fortalecer el turismo cultural y fomentar la valoración del patrimonio local.

Keywords

Prototype
Mobile App
Augmented Reality
Tourism
User-Centered Design

Abstract

This article presents the development and initial evaluation of a mobile application prototype based on Augmented Reality (AR) for displaying information about historical buildings in downtown, Zacatecas, Mexico, following a User-Centered Design (UCD) approach. The objective was to design an interactive tool that enhances the cultural experience by overlaying contextual information on monuments and providing access to a schedule of nearby cultural events. The potential user profile was defined through exploratory surveys applied to local residents and visitors, allowing the prototype's design to be tailored to users' needs and expectations. The proposal was evaluated through usability testing with real users using the System Usability Scale (SUS), obtaining an average score of 71.5 points, corresponding to an acceptable level of usability. Additionally, qualitative feedback was collected, enabling the identification of key improvements for evolving

the prototype towards a fully functional application. Despite promising results, limitations related to the use of a simulated environment and the scope of the evaluation are acknowledged, and the findings should be interpreted as an initial formative validation. The prototype demonstrates potential to support cultural tourism and promote appreciation of local heritage.

1. Introducción

Los avances tecnológicos han transformado múltiples actividades humanas, entre ellas el turismo, el cual ha integrado progresivamente las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para mejorar la experiencia del turista, desde la planificación de su viaje hasta la interacción con el entorno que visita. Entre las tecnologías emergentes destaca la Realidad Aumentada (RA), un concepto que comenzó a desarrollarse de manera sistemática a lo largo del siglo XX y que adquirió especial relevancia a partir de la década de 1990, consolidándose con el auge de la era digital y la proliferación de dispositivos móviles.

Una de las definiciones más influyentes en la literatura es la propuesta por Azuma (1997), quien describe la RA como una variante de los entornos virtuales caracterizada por su capacidad de presentar información digital en tiempo real sobre el entorno físico del usuario, enriqueciendo su experiencia sin reemplazar la realidad que percibe. De acuerdo con este autor, un sistema de RA, desde una perspectiva funcional, debe cumplir con tres características fundamentales: combinar elementos reales y virtuales, permitir la interacción en tiempo real y presentar la información en un entorno tridimensional.

Desde una perspectiva técnica, la implementación de un sistema de RA implica la integración de herramientas de generación de imágenes, dispositivos de visualización, así como mecanismos de rastreo y sensores (Billinghurst et al., 2015). Estos componentes, en conjunto, permiten crear, visualizar y anclar el contenido digital al entorno físico de manera coherente y contextualizada, favoreciendo una experiencia de interacción fluida para el usuario. La evolución progresiva de la tecnología implicada en estos componentes ha permitido superar las limitaciones presentes en sus primeras implementaciones, tales como la distorsión óptica, las imprecisiones en los sistemas de rastreo y problemas de alineación espacial entre los elementos virtuales y reales (Azuma, 1997; Billinghurst et al., 2015).

Gracias a estos avances, la RA se ha incorporado de manera creciente en aplicaciones móviles como mapas con indicaciones visuales, videojuegos y herramientas de diseño de interiores. En términos de implementación, su funcionamiento puede clasificarse en dos tipos principales: la RA basada en marcadores, que utiliza códigos de respuesta rápida (QR, Quick Response) o imágenes específicas para

activar contenido digital, y la RA sin marcadores, que emplea sensores como el sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System), acelerómetros y otros sensores para mapear el entorno y posicionar el contenido digital de manera automática (IBM, 2024).

El espacio de estudio de este trabajo, el centro histórico de Zacatecas, se caracteriza por su riqueza arquitectónica, conformada por plazas, jardines y monumentos de diversos estilos y épocas. Esta zona representa un importante atractivo turístico y componente económico para el estado. De acuerdo con el tercer informe de gobierno 2024, la zona conurbada Guadalupe-Zacatecas registró una ocupación hotelera de 624,928 personas, de las cuales 113,582 tenían como objetivo de visita museos y edificios históricos. Asimismo, se realizaron nueve festivales y más de 400 eventos artístico-culturales en el centro histórico con una audiencia de 416,300 asistentes (Gobierno del Estado de Zacatecas, 2024). Estas cifras ilustran la relevancia de la zona como eje cultural y turístico.

A pesar de la evidente afluencia turística y la riqueza cultural del centro histórico, la información histórica disponible in situ (mediante placas, folletos o guías tradicionales) es estática e insuficiente para el visitante que prioriza la eficiencia e interactividad. Podemos reconocer la existencia de una brecha en la Experiencia del Usuario (UX) entre la riqueza del patrimonio de Zacatecas y la accesibilidad en tiempo real a la información cultural. Este proyecto aborda directamente esta deficiencia.

En respuesta a esta problemática, este trabajo propone el desarrollo de un prototipo de aplicación móvil que integra RA basada en marcadores, diseñada bajo un enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU). La elección de esta tecnología responde a criterios de simplicidad y control durante las fases iniciales de diseño y evaluación, no obstante, se contempla la incorporación de la RA sin marcadores en versiones futuras, lo que permitiría posicionar automáticamente el contenido digital sin depender de elementos visuales específicos.

El objetivo del prototipo es ofrecer una herramienta interactiva que permita visualizar información relevante sobre edificios históricos en el centro de Zacatecas, así como consultar una agenda de eventos culturales cercanos, enriqueciendo la experiencia del visitante y fomentando el interés del público local por su patrimonio cultural.

2. Estado del arte

La RA ha sido explorada en una amplia variedad de dominios desde sus primeras conceptualizaciones, incluyendo campos como la medicina, la manufactura, la educación y el entretenimiento (Azuma, 1997). Esta diversidad de aplicaciones evidencia su potencial como una herramienta flexible en el ámbito de la Interacción Humano – Computadora (HCI), particularmente en contextos donde la información necesita ser integrada al entorno del usuario de manera no invasiva.

Durante la última década, la investigación dedicada a la RA muestra tendencias orientadas a la reconstrucción tridimensional, el patrimonio digital, los museos virtuales, la experiencia del usuario, el turismo, la gamificación y la preservación del patrimonio cultural intangible (Salleh & Bushroa, 2022). Estas líneas de investigación evidencian un interés creciente en la adopción de esta tecnología no solo como un método de representación visual, sino como un medio de transferencia y preservación del conocimiento.

En particular, en el sector turístico, diversos estudios han señalado que las herramientas digitales interactivas permiten superar las limitaciones de la información estática, facilitando el acceso a la información histórica y cultural a un público más extenso (Bekele et al., 2018). En este sentido, la RA ha demostrado ser eficiente al permitir la superposición de información, además de contribuir a la generación de registros digitales de gran valor para futuras intervenciones, restauraciones o reconstrucciones de elementos patrimoniales que pudieran ser afectados por causas naturales o humanas (Boboc et al., 2022).

Adicionalmente, la literatura señala que este tipo de tecnologías puede contribuir a reducir las barreras de acceso asociadas al idioma, al permitir la presentación de contenidos multilingüaje adaptados al perfil del visitante (Rane et al., 2023; Shukla et al., 2024). Este aspecto resulta especialmente relevante en destinos turísticos con alta afluencia de visitantes nacionales e internacionales, pues es otra forma de divulgar su patrimonio a mayor escala.

Tras la pandemia de COVID-19, el interés por soluciones digitales adquirió mayor relevancia al ofrecer experiencias culturales sin la necesidad de contacto físico directo, reduciendo la dependencia de guías presenciales y la concentración de grandes grupos de visitantes en espacios reducidos (Vlachos et al., 2024).

Diversas investigaciones reportan el desarrollo de aplicaciones móviles orientadas a la visualización

arquitectónica y realización de recorridos en museos, integrando contenidos interactivos que enriquecen la experiencia del visitante (Salleh & Bushroa, 2022; Trunfio et al., 2022). Estos sistemas suelen combinar modelos tridimensionales, información contextual y mecanismos de interacción diseñados para ser utilizados directamente en el sitio de visita.

Un ejemplo de aplicación práctica es el proyecto KAISAREIA-AR, que permite visualizar la evolución arquitectónica del emblemático castillo de Kayseri en Turquía, mediante reconstrucciones digitales, integradas en una experiencia de RA a través de dispositivos móviles (Dogan Turkoglu & Cakici Alp, 2025).

En cuanto a aplicaciones orientadas al entorno urbano, destacan los proyectos de reconstrucción histórica de ciudades como *Florenxia Oculta*¹ e *History City*², que emplean RA a través de dispositivos móviles para explorar cómo lucían áreas de distintas ciudades durante el periodo renacentista (Nevola et al., 2022).

Entre los países que concentran un mayor número de contribuciones en este ámbito se encuentran Italia, Grecia y España (Boboc et al., 2022), lo que pone de manifiesto la limitada presencia de investigaciones y desarrollo de propuestas de este tipo en el contexto mexicano.

En conjunto, esos trabajos muestran la versatilidad de la RA y su capacidad de aplicarse a diferentes contextos, culturales, educativos y para interés de este proyecto, turísticos. Sin embargo, la simple integración de la RA no garantiza la usabilidad ni la satisfacción del usuario, por lo que el presente trabajo propone el desarrollo del prototipo para una aplicación que combina componentes informativos, culturales y de asistencia. Para asegurar que esta combinación se traduzca en una UX eficaz e intuitiva y se integra el enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU). Este marco metodológico nos permitirá construir una herramienta orientada a satisfacer las necesidades del usuario final, mejorando la experiencia de visitantes y habitantes locales en el centro histórico de Zacatecas.

3. Metodología: Diseño Centrado en el Usuario

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo siguiendo el enfoque de DCU, el cual prioriza identificar y atender las características, necesidades y expectativas de éste a lo largo de todo el proceso de diseño. Este enfoque promueve la participación activa de los usuarios desde las etapas iniciales,

¹ *Florenxia oculta*: <https://hiddenflorence.org/>

² *History city*: <https://publicrenaissance.eu/>

permitiendo realizar ajustes iterativos basados en sus retroalimentaciones.

Si bien no existe una guía definitiva que dicte el proceso completo del DCU, es posible apoyarse en lineamientos y normas internacionales ampliamente aceptadas. En este trabajo, se adoptan los principios establecidos en el estándar ISO 9241-210:2010 (International Organization for Standardization, 2010), el cual establece un marco para diseñar sistemas interactivos usables y accesibles.

De acuerdo al modelo propuesto por Maguire et al. (1998), el DCU se puede dividir en cuatro etapas fundamentales:

1. Especificación del contexto de uso.
2. Especificación de los requisitos.
3. Producción de soluciones de diseño.
4. Evaluación del diseño.

Estas etapas se aplican de forma cíclica permitiendo iteraciones continuas para afinar el prototipo conforme se obtiene nueva información (Figura 1).

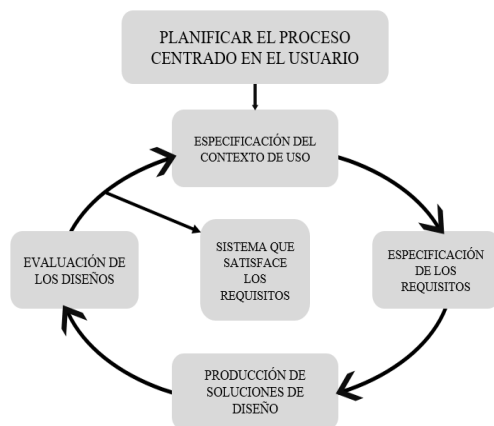


Figura 1: Etapas del Diseño Centrado en el Usuario (International Organization for Standardization, 2010)

A continuación, se describen las actividades realizadas en cada una de las etapas mencionadas con base en la aplicación práctica de la metodología.

3.1 Especificación del contexto de uso

En esta etapa se busca identificar y analizar los usuarios potenciales del sistema, así como de las condiciones en las que interactuarían con la aplicación. El objetivo fue comprender el perfil, necesidades, intereses y hábitos de los usuarios prospecto. Como punto de partida, el enfoque del proyecto se centró en un muestreo por conveniencia y bola de nieve, en entorno presencial y redes sociales para

conseguir llegar al público objetivo en un periodo de tiempo reducido.

La recolección de datos se llevó a cabo mediante la aplicación de encuestas en línea a través de la plataforma *Google Forms*³. Se diseñaron dos formatos de cuestionario distintos, uno dirigido a la población local y otro al público foráneo, con el fin de capturar las diferencias en motivación, patrones de visita y comportamientos entre ambos grupos.

Los cuestionarios consisten en siete apartados en común que abordaron aspectos demográficos, motivaciones y objetivos de la visita, comportamiento y preferencias de uso, tecnología y usabilidad, preferencias de contenido y expectativas de la aplicación. El cuestionario de contexto local incluye preguntas adicionales acerca de experiencias personales cotidianas en el centro histórico de Zacatecas.

Cabe señalar que estos cuestionarios fueron diseñados únicamente como instrumentos de apoyo al proceso de diseño, con un enfoque exploratorio y cualitativo. Por lo tanto, no constituyen estudios estadísticos representativos sino insumos orientados a la comprensión del contexto de uso y a la definición de requisitos del prototipo.

Con la información recopilada, se implementó la “técnica persona”, un método propuesto por Alan Cooper en 1983, (Design Thinking en Español, 2025). Esta técnica consiste en crear perfiles ficticios representativos basados en el análisis cualitativo de los datos obtenidos. El uso de estos perfiles permite establecer referencias empáticas en el proceso del diseño, identificando elementos como frustraciones comunes, necesidades y expectativas, que se convertirán en los requisitos funcionales clave del prototipo, asegurando que el resultado vaya orientado hacia las necesidades y expectativas de “un usuario tipo” específico que sea una representación fiel del público real.

3.2 Especificación de los requisitos

Una vez definido el contexto de uso y comprendido el perfil de los usuarios objetivo (Sección 3.1), se procedió a identificar los Requerimientos Funcionales (RF) y Requerimientos No Funcionales (RNF) del prototipo. Estos requerimientos, se refieren a las capacidades esenciales que el sistema debe ofrecer para que el usuario pueda cumplir sus objetivos. Para determinarlos, se tomaron como referencia los patrones detectados en las encuestas y se documentaron formalmente bajo el estándar IEEE830 (IEEE, 1998) redactado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

La clasificación detallada de los requisitos fue la siguiente:

³ Google Forms® es una marca registrada de Google LLC.

- A. **Requerimientos Funcionales (RF):** Enfocados directamente en la interacción inicial con el prototipo: visualización de información mediante la RA, la integración de un mapa interactivo para ubicación en tiempo real y la gestión de la consulta de la agenda de eventos cercanos.
- B. **Requerimientos No Funcionales (RNF):** Críticos para asegurar la calidad de la UX en el entorno móvil y la RA, se definieron en función de las frustraciones comunes y preferencias tecnológicas, buscando conseguir compatibilidad al maximizar la adopción de la aplicación, eficiencia contrarrestando la frustración del usuario y usabilidad de forma intuitiva, asegurando que el prototipo sea de fácil uso con principios de navegación intuitiva, utilizando iconografía familiar, inspirada en aplicaciones de uso común.

3.3 Producción de soluciones de diseño

Con los requisitos definidos, se procedió a crear propuestas de diseño orientadas a materializar las funcionalidades del sistema. En una primera etapa, se implementó la técnica de Paper Prototyping, una metodología de baja fidelidad que permite representar visualmente la estructura, navegación y funcionalidad propuesta de la aplicación sin necesidad de recursos técnicos complejos (Sefelin et al., 2003).

Posteriormente, se desarrolló un prototipo de alta fidelidad utilizando la herramienta *Justinmind*⁴ (Justinmind, 2025), seleccionada por su capacidad para simular de forma dinámica las interacciones del sistema, incluyendo transiciones de pantallas, respuestas táctiles y flujos de navegación realistas. Esta etapa es resultado de la primera iteración del ciclo continuo de mejora propuesto por el DCU.

Dado que el objetivo principal del estudio se centra en el diseño de la experiencia del usuario, el prototipo se implementó en un entorno simulado, lo que permitió evaluar aspectos de usabilidad y comprensión funcional sin depender aún de la implementación técnica completa de la RA en condiciones reales.

3.4 Evaluación del diseño

Una vez desarrollado el prototipo de alta fidelidad, se llevó a cabo una evaluación formativa de usabilidad con el objetivo de identificar problemas tempranos de interacción y obtener una primera aproximación a la percepción del sistema por parte de los usuarios.

La evaluación se realizó con cinco participantes (n = 5), siguiendo las recomendaciones de Nielsen para pruebas de usabilidad en etapas iniciales del diseño, donde muestras pequeñas permiten detectar la mayoría de los problemas de usabilidad más relevantes (Nielsen, 2000).

Como instrumento de evaluación, se aplicó el Sistema de Escalas de Usabilidad, SUS (por sus siglas en inglés), una herramienta estandarizada que permite obtener una puntuación cuantitativa sobre la percepción del sistema en términos de eficacia, eficiencia y satisfacción (Brooke, 1995). Además, se recopiló retroalimentación individual de los usuarios sobre su experiencia visual y funcional de navegación del prototipo.

Es importante señalar que esta evaluación corresponde a una fase exploratoria temprana, centrada en validar el diseño de la interacción y comprensión funcional del prototipo, no en evaluar el desempeño técnico de la RA en condiciones reales. En consecuencia, los resultados obtenidos deben interpretarse como indicativos del potencial de usabilidad del diseño y no una validación generalizable del sistema final.

4. Resultados

La implementación del DCU, permitió estructurar el proceso de diseño a partir de evidencia empírica, identificando al público objetivo, conocer sus necesidades y expectativas, definir los requerimientos del prototipo y desarrollar un producto. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas del proceso.

4.1 Definición del contexto de uso

La encuesta aplicada a través de la plataforma *Google Forms* contó con la participación de 83 participantes: 63 locales y 20 visitantes foráneos, la muestra incluyó estudiantes, trabajadores y otros perfiles ocupacionales, permitiendo capturar una diversidad de perspectivas sobre las visitas al centro de la ciudad.

Los participantes con patrones de visita más frecuentes se encuentran en el rango de edades de entre 25 y 34 años, en su mayoría de ocupación laboral activa y conocimientos intermedios o avanzados en el uso de dispositivos móviles y aplicaciones de tecnología similar a la propuesta en el prototipo.

Entre los usuarios foráneos, la mayoría visitaba el centro histórico con fines recreativos y culturales, pasando más de 2 horas de recorrido al día. Ambos grupos señalaron los aspectos más apreciados del centro histórico como arquitectura, historia y arte, seguidos de gastronomía y

⁴ Justinmind® es una marca registrada de Justinmind S.L.

tradiciones locales. En cuanto al estilo de visita, manifiestan preferencia por recorridos a pie, valoran el aprendizaje cultural y muestran interés por herramientas que les permitan optimizar el tiempo durante sus visitas

Las principales barreras identificadas fueron la limitación del tiempo y la complejidad para acceder a rutas e información.

La elección del segmento etario, adultos jóvenes, como público objetivo se justifica por su alta representatividad en la muestra al ser el sector con mayor disposición a participar y demostrar un interés genuino en las propuestas tecnológicas vinculadas al patrimonio cultural. Su familiaridad con interfaces digitales y apertura hacia nuevas experiencias, permiten prever una interacción eficaz con el prototipo sin requerir una curva de aprendizaje pronunciada.

Si bien los datos obtenidos no constituyen una muestra estadísticamente representativa, los resultados fueron suficientes para delimitar un perfil de usuario objetivo, orientando las decisiones del diseño del prototipo en sus etapas tempranas, manteniendo congruencia con el enfoque del DCU.

4.1.1 Perfil de usuario

Con los patrones detectados en las encuestas, se construyó un perfil persona: Carlos Rivas León (Figura 2), que representa las características y contexto del público objetivo. Este perfil describe a un usuario joven-adulto, interesado en explorar nuevos lugares, con apreciación por la arquitectura y cultura local, que busca soluciones tecnológicas que se integren de forma sencilla y efectiva a su experiencia turística. Para Carlos, el tiempo libre es valioso y limitado debido sus responsabilidades laborales, lo cual refuerza la necesidad de diseñar un producto eficiente, intuitivo y de fácil acceso.



Figura 2: Perfil persona, Carlos Rivas León

Este perfil permitió identificar las necesidades clave, facilitando la toma de decisiones de diseño desde una perspectiva empática centrada en el usuario.

4.2 Especificación de requerimientos

El análisis de los apartados correspondientes a tecnología, usabilidad, contenido y expectativas, permitió delimitar las características técnicas y funcionales que del prototipo.

Los resultados mostraron una preferencia clara hacia el sistema operativo *Android*, y por aplicaciones de navegación ampliamente utilizadas como *Google Maps*⁵, lo que orientó el diseño hacia interfaces familiares para el usuario. Esta información orientó el desarrollo inicial hacia diseños de entornos con los que el usuario esté familiarizado (Figuras 3 y 4).

Por otra parte, una porción significativa de los participantes manifiesta haber usado previamente aplicaciones con herramientas de RA, principalmente a través de filtros interactivos en redes sociales (Figura 5). Esto sugiere un panorama favorable para la adopción de esta tecnología en el prototipo.

Respecto al tipo de información que los usuarios desean recibir, los resultados indicaron mayor interés por datos prácticos como: información básica sobre el edificio o monumento, sus horarios de apertura y cierre, así como acontecimientos históricos relevantes (Figura 6). Esta preferencia fundamentó el incluir fichas informativas dentro de la experiencia de RA.

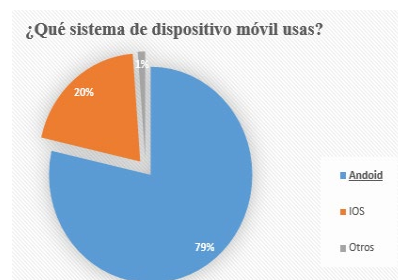


Figura 3: Tecnología y usabilidad, preferencias de sistema móvil

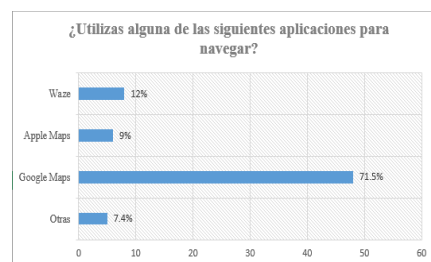


Figura 4: Tecnología y usabilidad, preferencias de navegación

⁵ Android® y Google Maps® son marcas registradas de Google LLC.

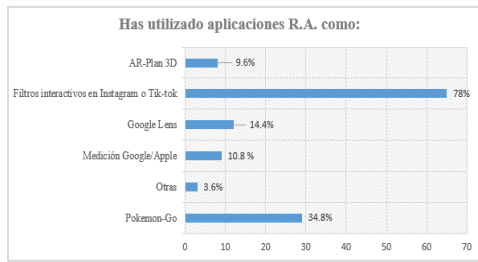


Figura 5: Tecnología y usabilidad, experiencias previas con RA

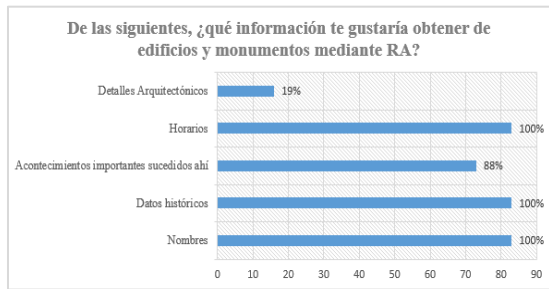


Figura 6: Preferencias de contenido RA

En cuanto a la experiencia de uso, se obtuvieron respuestas positivas hacia el incentivo mediante premios o recompensas y se mostró interés en funciones adicionales como notificación de eventos locales (Figuras 7 y 8).

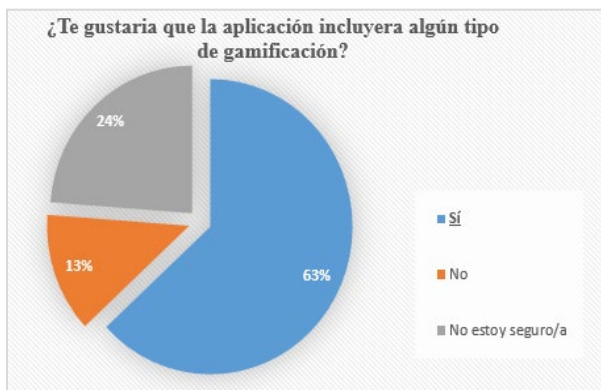


Figura 7: Expectativas del prototipo

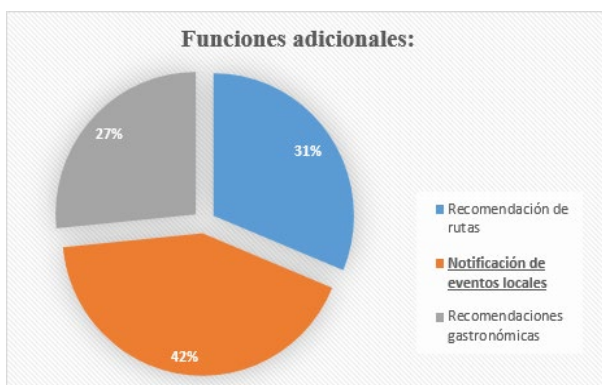


Figura 8: Funciones adicionales

Con la información recolectada, se elaboró un documento de especificación de requisitos siguiendo un formato respaldado en el estándar IEEE-830 (IEEE, 1998). En él se definieron tanto los Requerimientos Funcionales, como la visualización de en RA, integración de mapas y alertas, además de los Requisitos No funcionales, como compatibilidad, eficiencia y facilidad de uso.

4.2.1 Requerimientos Funcionales

La estructura funcional se basa en un menú principal que se ramifica en dos módulos: interacción con edificios mediante RA y gestión de eventos culturales.

Las funciones principales identificadas fueron:

Módulo de Navegación y Ubicación (RF1, RF3, RF5):

- Mostrar un mapa interactivo con la ubicación actual del usuario y los puntos de interés cercanos (edificios interactivos y eventos).
- Permitir la visualización de una lista de edificios interactivos, ordenada por proximidad a la ubicación actual.
- Integración con *Google Maps* al seleccionar un punto de interés, el sistema debe enlazar la ubicación con *Google Maps* para generar una ruta guiada.

Módulo de Realidad Aumentada (RF6, RF7):

- Escaneo de espacio: utilizar la cámara del dispositivo en conjunto con la ubicación para escanear el edificio interactivo y desplegar los íconos de RA.
- Acceso a información: al interactuar con el ícono de RA, el sistema debe mostrar una ventana con la información básica (nombre, dirección, datos históricos y acontecimientos relevantes), de acuerdo a la preferencia de estos datos por parte de los usuarios (Figura 6).

Módulo de eventos culturales (RF8, RF9):

- Mostrar un mapa o lista de eventos próximos a desarrollarse en un lapso de 72 horas cerca de la ubicación del usuario, en respuesta a las preferencias de los participantes (Figura 8).

4.2.2 Requerimientos No Funcionales y sus restricciones

Se establecieron para garantizar la calidad y adopción del prototipo, considerando las limitaciones de la primera iteración.

- Restricciones de alcance: la primera versión del prototipo limitaría la interacción a un conjunto selecto de edificios y se concentraría en la visualización de la información, sin permitir edición de la misma por parte de los usuarios generales.
- Restricciones de Hardware / software: se asumió una dependencia de la plataforma a versión de Android 10 o posterior, con al menos 4GB de RAM en el dispositivo, siguiendo las preferencias de los usuarios (Figura 3).
- Requisitos de interfaz: fue diseñada para utilizar menús desplegables, botones e iconografía con la que el usuario esté familiarizado, evitando la saturación visual del campo de cámara, priorizando la usabilidad.

4.2.3 Requisitos Futuros

Las encuestas revelaron funciones complementarias para futuras iteraciones del desarrollo, derivadas de sugerencias de los entrevistados, que incluyen:

- Sistema de gamificación para incentivar la exploración (Figura 7).
- Ampliar el catálogo de edificios interactivos disponibles.
- Integrar información de asistencia crítica como ubicación de módulos de seguridad, estaciones de transporte urbano y zonas de descanso.
- Desarrollo de un asistente virtual y sistema de recomendaciones personalizadas
- Inclusión de información en tiempo real sobre la concurrencia o aforo de espacios visitados.

4.3 Producción de soluciones de diseño

Con los requerimientos definidos se procedió a la elaboración de propuestas de diseño, enfocadas en representar de manera visual la funcionalidad y estructura del sistema. Esta etapa fue ejecutada bajo el principio iterativo del DCU, permitiendo validar ideas tempranas y realizar ajustes progresivos con iteraciones subsecuentes.

Durante la primera iteración, se implementó la técnica Paper Prototyping, en la cual se presentaron las propuestas de una pantalla principal, ubicación de logotipos, ventana de vista mapa, pantalla de escaneo mediante cámara para buscar elementos RA y la disposición de fichas informativas. Este prototipo fue acompañado de un esquema ilustrativo con la descripción de las funciones propuestas, permitiendo identificar las áreas a mejorar (Figuras 9 y 10).

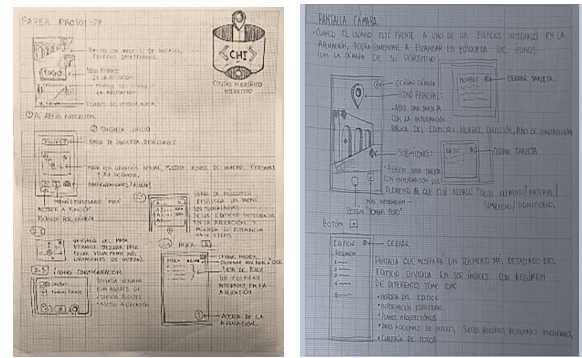


Figura 9: Esquema ilustrativo de funciones propuestas

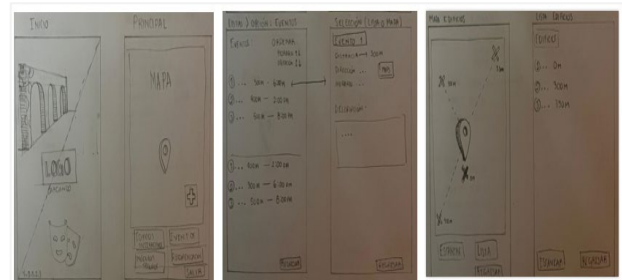


Figura 10: Paper Prototype

Posteriormente, se desarrolló un prototipo de alta fidelidad utilizando la herramienta Justinmind (Figura 11). Esta versión integró elementos visuales más precisos además de una simulación de navegación visual y táctil. El diseño se elaboró conservando los principios de:

- Simplicidad: priorizando una navegación clara y accesible desde la pantalla principal.
- Intuición: utilizando íconos y etiquetas familiares para los usuarios, inspirados en aplicaciones de navegación más utilizadas.
- Accesibilidad al contenido: propuesta de información clave sobre los edificios, presentada de forma concisa evitando la saturación visual.

Gracias al enfoque iterativo del DCU, la transición del prototipo en papel al de alta fidelidad permitió validar elementos visuales y funcionales. Esta etapa resultó fundamental para consolidar la propuesta alineada a las necesidades del público objetivo.

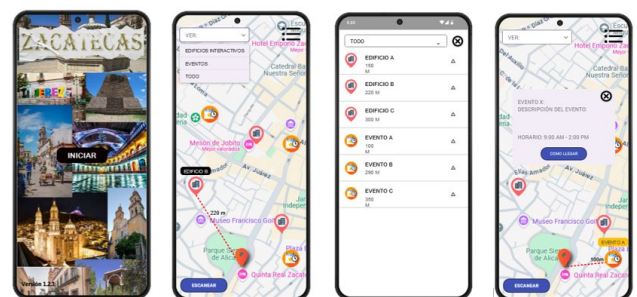


Figura 11: Prototipo de alta fidelidad

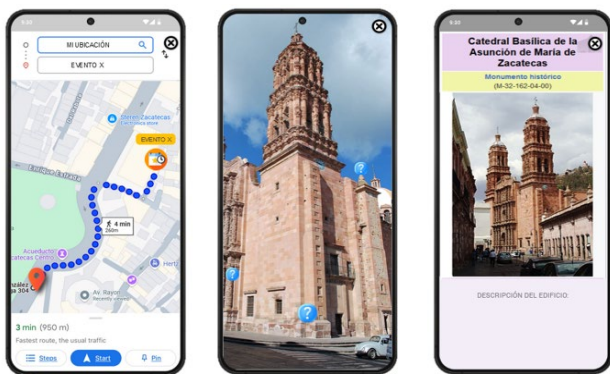


Figura 12: Prototipo de alta fidelidad

4.3.1 Flujo de interacción del prototipo

La experiencia de interacción comienza con una pantalla de bienvenida, seguida por el mapa principal. En esta vista, el usuario visualiza su ubicación actual, íconos de eventos y monumentos interactivos cercanos, junto con una barra de búsqueda y filtros. La información se puede ordenar alfabéticamente o por distancia.

Al seleccionar un elemento, se muestra una ventana con información básica (nombre, distancia, breve descripción) y la opción de crear una ruta hacia el punto de interés. Al encontrarse frente a un monumento interactivo, se activaría la función de escaneo, mediante la cámara del dispositivo, el usuario inspecciona el espacio y el sistema superpone los elementos de RA que, al ser seleccionados, despliegan la ficha informativa correspondiente (Figuras 11 y 12). La validación de este flujo fue el objetivo de la siguiente etapa.

4.4 Evaluación de los diseños

Siguiendo el enfoque iterativo del DCU y la teoría de saturación de usabilidad propuesta por Nielsen (2000), se seleccionaron cinco usuarios (n = 5) con características acordes al perfil persona definido previamente para la primera prueba del prototipo (Figura 13).

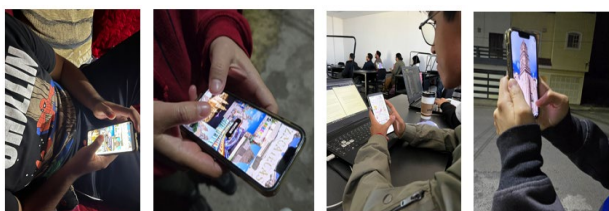


Figura 13: Evaluación de prototipo con usuarios

Es importante destacar que el prototipo se implementó en un entorno simulado mediante la herramienta Justinmind, lo que permitió analizar aspectos de usabilidad y experiencia del usuario a través del flujo de interacción y comprensión funcional del sistema sin depender de una implementación técnica completa de la RA en condiciones reales. Esta

modalidad facilitó la identificación temprana de problemas de navegación, organización y presentación de contenidos. Sin embargo, no reproduce variables críticas propias de una prueba en campo, tales como iluminación ambiental, latencia del hardware, estabilidad del seguimiento de la cámara ni precisión del GPS. Por lo tanto, los resultados obtenidos deben ser interpretados como una validación formativa del diseño de interacción y no como una medición del desempeño técnico del sistema de RA.

A los participantes se les solicitó descargar la aplicación móvil de Justinmind en sus dispositivos personales. Se les proporcionó una breve descripción del propósito del prototipo de alta fidelidad y se permitió la interacción libre con el mismo. Durante la sesión, se ofreció apoyo mínimo con el objetivo de observar la naturalidad de la interacción del usuario, reduciendo la influencia del evaluador.

Tras la experiencia, se aplicó la evaluación SUS, esta se compone por diez enunciados evaluados mediante una escala Likert de cinco puntos, donde 1 corresponde a "totalmente en desacuerdo" y 5 a "totalmente de acuerdo" (Brooke, 1995). Los ítems impares (SUS1, SUS3, SUS5, SUS7 y SUS9) representan afirmaciones positivas, mientras que los ítems pares (SUS2, SUS4, SUS6, SUS8 y SUS10) evalúan aspectos negativos del sistema.

La Tabla 1 presenta los valores promedio obtenidos para cada ítem del cuestionario. Con el fin de profundizar en el análisis de usabilidad, se hizo una revisión ítem por ítem de la evaluación, para identificar los puntos fuertes y deficiencias de la propuesta.

Tabla 1: Resultados promedio por ítem del cuestionario SUS

Ítem	Concepto del enunciado	Calificación media
SUS1	Uso frecuente	4.4
SUS2	Complejidad del sistema	3.0
SUS3	Facilidad de uso	3.6
SUS4	Dependencia de soporte técnico	2.6
SUS5	Integración de funciones	3.6
SUS6	Inconsistencia	2.6
SUS7	Aprendizaje rápido	4.2
SUS8	Dificultad de uso	1.8
SUS9	Confianza en el uso	4.2
SUS10	Necesidad de información previa	1.4

Los resultados muestran una valoración positiva del prototipo, particularmente en los ítems relacionados con la frecuencia de uso potencial (SUS1), la facilidad de aprendizaje (SUS7) y la confianza durante la interacción (SUS9), todos con

valores mayores a 4.0 puntos. Estos hallazgos sugieren que los usuarios perciben la aplicación como intuitiva y accesible desde las primeras interacciones.

Los bajos puntajes obtenidos en los enunciados de dependencia de soporte técnico (SUS4), dificultad de uso (SUS8), inconsistencia (SUS6) y necesidad de información previa (SUS10) reflejan que los usuarios no percibieron la aplicación como difícil o dependiente de explicaciones extensas, lo cual es consistente con los principios de usabilidad planteados en el diseño.

En contraste, las puntuaciones intermedias obtenidas en los ítems negativos como la percepción de complejidad del sistema (SUS2) y la integración de funciones (SUS5), sugieren que algunos usuarios percibieron una integración parcial entre los módulos de navegación y escaneo, así como una ligera sobrecarga estructural en la organización de las funciones. En consecuencia, se recomienda priorizar en la siguiente iteración la simplificación de los flujos de navegación y la agrupación visual de botones con sus funciones, con el objetivo de reducir la carga cognitiva para el usuario.

Finalmente, el enunciado relativo a la facilidad de uso (SUS3), obtuvo una puntuación aceptable, coherente con una primera iteración del prototipo.

El puntaje global promedio del SUS fue de 71.5 (Tabla 2), que en nomenclatura del sistema, clasifica el prototipo como aceptable dentro de la escala de usabilidad.

Tabla 2: resultados de la evaluación de usabilidad (SUS)

Usuario	Puntaje SUS (0-100)	Calificación interpretativa
U1	75	Aceptable
U2	82.5	Aceptable
U3	67.5	Marginal
U4	72.5	Aceptable
U5	60	Marginal
Promedio	71.5	Aceptable

Además de la puntuación cuantitativa, se recopiló retroalimentación individual sobre la experiencia visual y funcional, la cual será crucial para la mejora continua del prototipo. Los comentarios de los participantes se agruparon en dos categorías que identifican las siguientes áreas de mejora:

- Aspectos visuales: Estilización de los íconos, uso de fuentes de texto más atractivas y aumento de transparencia en los menús desplegables.

- Aspectos funcionales: Mostrar el botón de escanear solo frente a edificios interactivos, mejorar la organización de la información en listas, y permitir la interacción tanto en el mapa como en la vista de cámara.

Finalmente, los participantes expresaron interés en funciones complementarias de asistencia como el acceso a información de módulos de seguridad y recomendación de eventos de acuerdo a sus preferencias.

5. Discusión

La aplicación del enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU) en este proyecto no solo funcionó como una metodología de desarrollo, sino como un marco de validación que permitió alinear las expectativas de un público joven-adulto con las capacidades de la Realidad Aumentada (RA) en un contexto patrimonial específico. La obtención de un puntaje global de 71.5 puntos en el SUS es consistente con lo que la literatura define como un sistema aceptable en sus etapas iniciales (Brooke, 1995), lo cual valida la arquitectura de información y flujo de interacción propuestos para el centro histórico de Zacatecas.

Un hallazgo crítico derivado del análisis ítem por ítem del SUS es la alta calificación en los aspectos de aprendizaje rápido (SUS7) y confianza en el uso (SUS9), esto sugiere que el uso de elementos visuales familiares, inspirados en aplicaciones ampliamente utilizadas como Google Maps e iconografía estándar del sistema Android, redujo significativamente la curva de aprendizaje. En contraste, la puntuación intermedia en la percepción de complejidad (SUS2) y la integración de funciones (SUS5), evidencian oportunidades de mejora que coinciden con la retroalimentación cualitativa, particularmente, sobre la visualización del botón de escaneo. Esto indica que la transición entre la vista de mapa y la vista de cámara RA requiere un ajuste en la interfaz para minimizar la carga cognitiva.

En comparación con investigaciones previas como la de Boboc et al. (2022), quienes destacan que la RA es una tecnología con alto potencial para la preservación del patrimonio, los resultados de este trabajo confirman que existe una disposición positiva del usuario hacia esta tecnología cuando le ofrece datos prácticos como horarios, rutas y eventos, no solo elementos visuales, reforzando la importancia de equilibrar innovación tecnológica con funcionalidad informativa.

Respecto a la proyección hacia una implementación de RA sin marcadores en entornos históricos, su adopción plantea desafíos técnicos y operativos significativos. Su funcionamiento estaría condicionado por la precisión del sistema GPS y por fenómenos asociados al entorno urbano,

como interferencias de señal y el efecto cañón en calles estrechas, además de la oclusión visual causada por peatones, vehículos o mobiliario urbano, que podrían comprometer la correcta superposición del contenido digital y la estabilidad del anclaje virtual. Estos factores demandan estrategias híbridas que combinen geolocalización, visión computacional y sensores inerciales para robustecer el seguimiento (tracking) en futuras versiones del sistema.

Finalmente, es imperativo reconocer las limitaciones de este estudio. La muestra de cinco usuarios, aunque metodológicamente justificada por Nielsen (2000) para evaluaciones formativas tempranas, limita la generalización de los datos. De igual manera, la evaluación en un entorno simulado no permite medir el impacto de variables ambientales reales, conectividad y desempeño del hardware, factores que serán abordados en la siguiente fase de desarrollo.

6. Conclusiones

Este trabajo demuestra que el desarrollo de herramientas digitales para el turismo cultural debe priorizar la Experiencia del Usuario (UX) por encima del despliegue tecnológico. La metodología DCU permitió traducir efectivamente las necesidades de los visitantes del centro histórico en un prototipo funcional que logró una calificación de usabilidad aceptable.

Las conclusiones derivadas de esta investigación son:

Efectividad del DCU: La participación activa del usuario desde la etapa de requerimientos permitió identificar que la información práctica es tan valorada como la experiencia visual.

Intuición del diseño: El análisis detallado de la evaluación SUS confirma que el sistema es fácil de aprender, minimizando la necesidad de soporte técnico externo.

Viabilidad tecnológica: la RA basada en marcadores constituye una solución robusta y de bajo costo para las fases iniciales de digitalización del patrimonio cultural.

6.1 Proyecciones y trabajo futuro

Como respuesta a las áreas de mejora identificadas, el trabajo futuro se dividirá en dos líneas:

Optimización de la interfaz: Implementar menús con transparencias dinámicas y un sistema de activación de escaneo contextual, mejorando la integración de funciones (SUS5).

Validación de campo: Realizar pruebas in situ con una muestra poblacional más amplia ($n > 30$) para evaluar el desempeño de la aplicación bajo condiciones de red y luz reales, explorando la transición hacia la RA sin marcadores mediante el uso de sensores inerciales y geolocalización.

Referencias

- Azuma, R. T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*.
- Bekele, M. K., Pierdicca, R., Frontoni, E., Malinverni, E. S., & Gain, J. (2018). A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 11(2), 1-36. <https://doi.org/10.1145/3145534>
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human—Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272. <https://doi.org/10.1561/1100000049>
- Boboc, R. G., Băutu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N., & Popovici, D.-M. (2022). Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications. *Applied Sciences*, 12(19), 9859. <https://doi.org/10.3390/app12199859>
- Brooke, J. (1995). SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.*, 189.
- Design Thinking en Español. (2025). *¿Qué es la técnica «personas»? Design Thinking*. <https://designthinking.es/personas/>
- Dogan Turkoglu, H., & Cakici Alp, N. (2025). Evaluating Cultural Heritage Preservation Through Augmented Reality: Insights from the Kaisareia-AR Application. *Architecture*, 5(3), 59. <https://doi.org/10.3390/architecture5030059>
- Gobierno del Estado de Zacatecas. (2024). *3er Informe de Gobierno David Monreal* (No. 3; pp. 199-205). <https://3erinformedavidmonreal.zacatecas.gob.mx/archivos/3ERINFORME2024.pdf>
- IBM. (2024, abril 3). *¿Qué es la realidad aumentada?* / IBM. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/augmented-reality>
- IEEE. (1998). *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1998.88286>
- International Organization for Standardization. (2010). *ISO 9241-210:2010(en), Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-1:v1:en>
- Justinmind. (2025). *Justinmind prototyping tool [Software de simulación interactiva]*. <https://www.justinmind.com/>
- Martin Maguire, J. Kirakowski, & N. Vereker. (1998). *RESPECT: User centred requirements handbook* [Dataset]. https://repository.lboro.ac.uk/articles/report/RESPECT_User_centred_requirements_handbook/9354023

- Nevola, F., Coles, T., & Mosconi, C. (2022). Hidden Florence revealed? Critical insights from the operation of an augmented reality app in a World Heritage City. *Journal of Heritage Tourism*, 17(4), 371-390. <https://doi.org/10.1080/1743873X.2022.2036165>
- Nielsen, J. (2000). *Why You Only Need to Test with 5 Users*. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>
- Rane, N., Choudhary, S., & Rane, J. (2023). Sustainable tourism development using leading-edge Artificial Intelligence (AI), Blockchain, Internet of Things (IoT), Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4642605>
- Salleh, S. Z., & Bushroa, A. R. (2022). Bibliometric and content analysis on publications in digitization technology implementation in cultural heritage for recent five years (2016–2021). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 25, e00225. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00225>
- Sefelin, R., Tscheligi, M., & Giller, V. (2003). Paper prototyping—What is it good for?: A comparison of paper- and computer-based low-fidelity prototyping. *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI '03*, 778. <https://doi.org/10.1145/765891.765986>
- Shukla, V., Rana, S., & Prashar, S. (2024). Examining the potential of virtual and augmented reality in enhancing tourism experiences. *The Bottom Line*. <https://doi.org/10.1108/BL-05-2023-0139>
- Trunfio, M., Jung, T., & Campana, S. (2022). Mixed reality experiences in museums: Exploring the impact of functional elements of the devices on visitors' immersive experiences and post-experience behaviours. *Information & Management*, 59(8), 103698. <https://doi.org/10.1016/j.im.2022.103698>
- Vlachos, A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024). A review of ontologies for augmented reality cultural heritage applications. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 14(2), 160-174. <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-06-2021-0110>