

APRENDIZAJE EN REALIDAD AUMENTADA EN EL MUSEO Y CENTRO CULTURAL RUMIÑAHUI

Pablo David Minango Negrete

pablo.minango@ister.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3382-7616>

Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui - Ecuador

Oscar Marcelo Zambrano Vizuite

marcelo.zambrano@ister.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5152-7572>

Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui - Ecuador

César Andrés Minaya Andino

cesar.minaya@ister.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8659-8626>

Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui - Ecuador

Karina Alexandra Conde Montaña

kachito.conde@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8659-8626>

Investigadora independiente

Recibido: 15/11/25

Aceptado: 15/12/25

Publicado: 01/01/26

RESUMEN

La realidad aumentada (RA) puede utilizarse para innovar en entornos de aprendizaje no formales e informales, especialmente, en instituciones de patrimonio cultural latinoamericano con presupuestos limitados. La investigación propuso el diseño, desarrollo y evaluación de una aplicación web progresiva (PWA) para el Museo y Centro Cultural Rumiñahui en Ecuador, basada en teorías de aprendizaje experiencial y constructivista. El sistema utiliza siete avatares 3D, basados en Google Model Viewer y WebXR, para representar figuras históricas de Ecuador y se aloja en un servicio Firebase sin servidor; puede utilizarse en teléfonos inteligentes sin instalación. Una galería de redes sociales permite a los usuarios publicar fotos con una marca de agua, fomentando así la interacción. Se realizó una evaluación utilizando la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) y elementos relacionados con el aprendizaje a 47 visitantes durante un mes. Se obtuvo una puntuación media en la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) de 78,3, un alto grado de acuerdo sobre el mayor interés en la historia ecuatoriana ($M = 4,47/5$) y una tasa de interacción con la RA del 67 % (superior a la media de las aplicaciones nativas). Los resultados sugieren que la realidad aumentada basada en la web es escalable, asequible y un medio educativo de alta eficiencia.

PALABRAS CLAVE: realidad aumentada, innovación educativa, avatares 3D.

AUGMENTED REALITY LEARNING AT THE MUSEO Y CENTRO CULTURAL RUMIÑAHUI

ABSTRACT

Augmented reality (AR) can be used to foster innovation in non-formal and informal learning environments, particularly in Latin American cultural heritage institutions with limited budgets. This research proposed the design, development, and evaluation of a progressive web app (PWA) for the Rumiñahui Museum and Cultural Center in Ecuador, based on experiential and constructivist learning theories. The system uses seven 3D avatars, based on Google Model Viewer and WebXR, to represent historical figures from Ecuador and is hosted on a serverless Firebase service; it can be used on smartphones without installation. A social media gallery allows users to post photos with a watermark, thereby encouraging interaction. An evaluation was conducted using the System Usability Scale (SUS) and learning-related metrics among 47 visitors over the course of one month. The average System Usability Scale (SUS) score was 78.3, with a high degree of agreement regarding increased interest in Ecuadorian history ($M = 4.47/5$) and an AR interaction rate of 67% (higher than the average for native apps). The results suggest that web-based augmented reality is scalable, affordable, and a highly effective educational tool.

KEY WORDS: augmented reality, educational innovation, 3D avatars.

1. INTRODUCCIÓN

La educación se extiende mucho más allá de las aulas institucionales. La visita a un museo, el recorrido patrimonial y los eventos culturales comunitarios se encuentran entre los espacios históricamente más perdurables de lo que la investigación contemporánea caracteriza como aprendizaje informal, la adquisición voluntaria e intrínsecamente motivada de conocimientos, actitudes y habilidades dentro del rico contexto de entornos físicos y sociales reales (Guan et al., 2025). Las instituciones culturales en América Latina han servido durante mucho tiempo como actores educativos esenciales para poblaciones cuyo acceso a la instrucción formal en historia y ciencias sociales sigue siendo desigual según las líneas geográficas, económicas y generacionales, lo que convierte el diseño de experiencias museísticas atractivas en una cuestión tanto de política cultural como de equidad educativa.

Los formatos de exposición tradicionales (vitrinas estáticas, paneles informativos impresos, narración oral guiada) han demostrado una eficacia cada vez menor para mantener el interés de las audiencias más jóvenes, influenciadas por entornos digitales interactivos (Giannini & Bowen, 2019). Esta tensión estructural entre el mandato educativo de las instituciones patrimoniales y las cambiantes expectativas de los visitantes nativos digitales ha generado un interés constante en el aprendizaje informal potenciado por la tecnología. En este sentido, la realidad aumentada (RA) se ha revelado como un instrumento particularmente prometedor para este desafío debido a una propiedad fenomenológica distintiva: superpone información digital al mundo físico sin desplazarlo, preservando la conexión espacial y emocional con artefactos y lugares reales que constituye el valor educativo intrínseco del contexto museístico (Grubert et al., 2017). Los visitantes permanecen en el espacio físico, en presencia de la colección real, mientras interactúan con capas digitales que enriquecen su encuentro con objetos culturales y figuras históricas.

Las recientes revisiones sistemáticas de la RA en entornos educativos confirman que, cuando se diseña con una intencionalidad pedagógica explícita (basada en la teoría del aprendizaje y orientada hacia objetivos de aprendizaje específicos), produce mejoras medibles en la motivación, la comprensión conceptual y la retención del conocimiento en comparación con los materiales didácticos convencionales (Maas & Hughes, 2020; Radianti et al., 2020). El avatar tridimensional, en la tradición del diseño educativo de la cognición corporizada y el aprendizaje experiencial (Morris, 2020), funciona como un ancla concreta para un conocimiento histórico que de otro modo sería abstracto: el acto de colocar una figura de la época de la independencia en el entorno físico mediante la RA no es una novedad tecnológica, sino una operación cognitiva que conecta la memoria histórica con la experiencia espacial contemporánea.

El museo y centro cultural Rumiñahui se ubica en Sangolquí, en la región del Valle de los Chillos, Ecuador, un territorio con profundas raíces en la cultura indígena Kichwa y una rica historia de la época republicana. La institución atiende

a grupos escolares, familias y visitantes independientes, muchos de los cuales llegan sin un conocimiento previo profundo de las figuras históricas representadas en su colección permanente.

El mandato institucional de profundizar la interacción educativa con estas figuras, junto con limitaciones operativas como la ausencia de personal técnico propio y la conectividad variable de los visitantes, dieron lugar a una decisión de diseño deliberada: una aplicación web progresiva basada en React que se comunica con los servicios en la nube de Firebase, renderiza avatares 3D a través de Google Model Viewer (versión 3.3.0) y se estructura en torno a un flujo de aprendizaje experiencial de tres etapas que abarca la selección y contextualización, la interacción con RA y la documentación social participativa a través de una galería fotográfica comunitaria.

Los siete avatares culturales implementados en la aplicación representan una muestra representativa de la memoria histórica ecuatoriana: el Chagra (figura emblemática del jinete de la sierra andina), el Choclito (que representa las tradiciones agrícolas centradas en el maíz), Juan Zangolquí (figura histórica local del Valle de los Chillos), el Pingullero (instrumentista tradicional de viento), Rosa Montúfar (figura femenina de la época de la independencia), el Ruco (arquetipo de anciano ancestral fundamental en la tradición festiva andina) y Simón Bolívar (el Libertador de Sudamérica). La inclusión deliberada de figuras tanto de la historiografía formal como de la cultura popular actual refleja una postura pedagógica: la tecnología educativa empleada en contextos patrimoniales debe ampliar, en lugar de replicar, las jerarquías canónicas de significado histórico que dominan la educación formal (Canaras, 2022).

Este artículo aporta cuatro contribuciones a la investigación sobre innovación educativa y RA: (1) propone e implementa un marco pedagógico constructivista y experiencial explícito para la RA nativa del navegador en entornos de aprendizaje informales; (2) documenta la arquitectura técnica completa de una aplicación web de RA sin servidor de nivel de producción diseñada para un contexto educativo patrimonial en un país en desarrollo; (3) informa de una evaluación que combina medidas de usabilidad y resultados orientados al aprendizaje recopilados durante un despliegue de campo en el museo y (4) sitúa el trabajo dentro de la literatura convergente sobre RA en la educación y el patrimonio cultural digital, identificando las posibilidades y limitaciones específicas de WebXR para la pedagogía informal.

2. METODOLOGÍA

Diseño de la investigación

El estudio adoptó una metodología de investigación en diseño educativo (IDE) (McKenney & Reeves, 2018), que concibe el diseño, desarrollo y evaluación iterativos de artefactos de tecnología educativa como una forma de contribución académica cuando el artefacto aborda un problema educativo rigurosamente definido en un contexto específico. La IDE es particularmente adecuada para contextos museísticos y de aprendizaje informal, ya que se adapta a la naturaleza

Minango Negrete, P, Zambrano Vizuete O., Minaya Andino, C. y Conde Montaña, K. (2026). Aprendizaje en realidad aumentada en el museo y centro cultural Rumiñahui. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 79-97. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/233>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

iterativa y socialmente integrada del diseño para entornos en los que los objetivos de aprendizaje, las características de los participantes y las limitaciones institucionales están estrechamente interrelacionados.

La Figura 1, muestra el proceso de investigación que se desarrolló en cuatro fases: (1) identificación del problema educativo y obtención de requisitos de las partes interesadas del museo; (2) definición del marco pedagógico y diseño de la arquitectura del sistema; (3) desarrollo iterativo y pruebas internas con educadores del museo y (4) evaluación de campo que combinó medidas de usabilidad y orientadas al aprendizaje con visitantes del museo. No se recogieron ni conservaron datos que permitieran identificar personalmente al usuario, más allá del grupo de edad y el tipo de dispositivo declarado por el propio usuario.

Figura 1

Diagrama de flujo del diseño de la investigación propuesta.



Fuente: autoría propia.

Marco pedagógico

El diseño pedagógico de la aplicación se basa en tres tradiciones teóricas complementarias que convergen en una premisa común: que el aprendizaje es más eficaz cuando es activo, vivencial, contextualizado y mediado socialmente.

Aprendizaje experiencial. Morris (2020) mantiene que el conocimiento no se transmite, sino que se construye a través de un ciclo de experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa. La aplicación se ajusta a este ciclo donde la sesión de RA con un avatar elegido constituye la experiencia concreta; la captura y carga de la foto invita al visitante a reflexionar y seleccionar un momento representable del encuentro; el contexto social de la galería comunitaria estimula la conceptualización abstracta de la importancia histórica de la figura y la elección del avatar a explorar la decisión de regresar al museo constituye la experimentación activa.

Aprendizaje constructivista. Mystakidis et al. (2021) sostiene que los estudiantes construyen conocimiento de forma activa mediante la interacción con su entorno, en lugar de recibir información pasivamente. La aplicación operacionaliza este principio a través de la manipulación interactiva de avatares 3D, donde los visitantes pueden orbitar, hacer zoom y examinar cada modelo desde cualquier ángulo y mediante la experiencia de posicionamiento en RA, que invita a los estudiantes a construir una relación espacial y personal con figuras históricas al integrarlas en su entorno físico actual.

Aprendizaje situado y social. Parmaxi (2023) menciona que el conocimiento depende fundamentalmente del contexto y que el aprendizaje se potencia cuando se produce en entornos donde dicho conocimiento tiene relevancia social. La colocación del avatar tridimensional como el Pingullero en el espacio físico del museo en el Valle de los Chillos, una región donde aún se practica la tradición que representa, generando una interacción contextualizada con el conocimiento cultural que los materiales impresos estáticos no pueden reproducir. La galería comunitaria amplía la dimensión social de esta experiencia contextualizada. La fotografía del visitante aparece junto a las contribuciones de otros visitantes, creando un archivo comunitario en el que la experiencia de aprendizaje adquiere un significado colectivo.

Obtención de requisitos

Las sesiones de trabajo de campo en el museo y centro cultural Rumiñahui, permitieron alinear las aspiraciones educativas de la institución con las capacidades tecnológicas reales observadas por el equipo técnico. En las reuniones con el museólogo, se identificó una adaptación digital entre la dependencia de figuras o esculturas que están atrás de una vitrina o en un espacio cercado limitando la conexión emocional con los próceres y figuras culturales. La tecnología no debe ser un fin, sino un puente: bajo esta premisa se determinó que el sistema debe facilitar una contextualización accesible, permitiendo que familias y grupos escolares interactúen con figuras tridimensionales sin barreras cognitivas o tecnologías complejas. La Tabla 1 muestra los requerimientos levantados para el desarrollo del sistema.

Tabla 1

Dispositivos evaluados.

Dimensión	Requerimiento clave
Educativa	Fomentar el aprendizaje compartido mediante una galería comunitaria y motivar la investigación post-visita.
Funcional	Visualización de 7 avatares 3D con metadatos, carga de fotos a la nube y marca de agua institucional automática.
Técnica (NFR)	Compatibilidad multiplataforma (iOS, Android), carga en menos de 5 segundos y cero mantenimientos de servidores.

Fuente: autoría propia.

Al evaluar la infraestructura del museo, se observó la ausencia de un departamento de TI interno, lo que descartó el uso de arquitecturas complejas. La decisión técnica se basó en un enfoque Serverless y Web-Native, con el propósito de garantizar el cumplimiento del requerimiento de “cero instalaciones”, se desarrolló una arquitectura híbrida: Android (WebXR), que utiliza la API nativa del navegador para la experiencia AR nativa de los dispositivos e iOS (Apple AR Quick Look), dado que Safari no soporta el módulo WebXR AR, se tuvo que implementar

um fallback nativo de Apple que permite visualizar modelos en formato .usdz sin roce.

Arquitectura del sistema

La aplicación está estructurada como una aplicación de una sola página, con enrutamiento manual de vistas implementado mediante el hook 'useState' de React19. Tres vistas corresponden a tres etapas del ciclo de aprendizaje de la experiencia de usuario: menú de selección de avatar, interfaz de visualización de RA y carga de fotos y, finalmente, la galería de fotos de la comunidad. La estructura de los componentes del sistema es la siguiente:

- *App.jsx* - Contenedor de estado, definiciones de los datos del avatar, enrutador de vista.
- *AvatarMenu.jsx* - Cuadrícula responsiva de dos columnas con las tarjetas de avatar, punto de entrada de aprendizaje.
- *ArExperience.jsx* - Integración con Model Viewer, marca de agua en Canvas, carga a Firebase.
- *AdminLogin.jsx* - Modal de contraseña del lado del cliente para la moderación de contenido.
- *Gallery.jsx* - Feed de fotos de la comunidad de Firestore, lightbox, controles de eliminación para administradores.

Desde un punto de vista pedagógico, la página del AvatarMenu es el sitio de pre-interacción donde los visitantes leen metadatos descriptivos y estableciendo asociaciones iniciales con la figura que encontrarán en la RA. La vista ArExperience es la página donde se da la experiencia concreta entre el mundo real y la RA. Finalmente, la Galería es un espacio de reflexión social, donde la fotografía del visitante aparece junto a las de otros, activando la dimensión de aprendizaje social entre pares (Parmaxi, 2023). Los datos del avatar se definen como un array estático de JavaScript dentro de 'App.jsx', donde cada entrada especifica un identificador, un nombre para mostrar, la ruta del modelo GLB, la ruta de la imagen en miniatura y una breve descripción cultural. Para añadir un nuevo avatar, es necesario actualizar este array y arreglar los archivos '.glb' y '.png' correspondientes al directorio '/public'.

Renderizado de avatares 3D y entrega de RA

El diseño del avatar 3D se lo realizó empleando Tripo Studio, que renderiza automáticamente un modelo a partir de un diseño en 2D de una imagen, permitiendo descargar el archivo en formato binario de transmisión '.glb', que integra la geometría de la malla, datos de los materiales de renderizado basado en la física (PBR), esqueletos y texturas en un único archivo binario. El tamaño de los archivos de los modelos oscila entre 17 MB y 29 MB, superando el límite de tamaño recomendado para la entrega web. Esta decisión de preservar cada uno de los modelos se basa en la representación precisa de vestimenta tradicional, instrumentos musicales, prendas ceremoniales y rasgos faciales en formato de caricatura, para preservar la esencia de los personajes con un enfoque atractivo Minango Negrete, P, Zambrano Vizuete O., Minaya Andino, C. y Conde Montaña, K. (2026). Aprendizaje en realidad aumentada en el museo y centro cultural Rumiñahui. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 79-97. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/233>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

para los visitantes y la función de afirmación de la identidad cultural de los avatares (Canaras, 2022).

El renderizado y la entrega en RA se gestionan mediante el componente web Google Modeler Viewer (versión 3.3.0), que se carga a través de una etiqueta CDN, como un elemento HTML personalizado, que se utiliza directamente en JSX sin necesidad de una instrucción de importación. El atributo 'ar-modes' se establece en 'scene-viewer webxr quick-look' implementando una cadena de entrega multiplataforma con orden de prioridad:

1. Google Scene Viewer: posicionamiento de RA con seguimiento optimizado para dispositivos Android.
2. WebXR Device API: sesión de RA nativa del navegador (WebXR Device API, s. f.).
3. AR Quick Look: vista previa de RA nativa de Apple.

La estrategia multimodo maximiza la cobertura de RA multiplataforma, al tiempo que se adapta de forma fluida a la visualización orbital en 3D en dispositivos no compatibles (Grubert et al., 2017), lo que garantiza la experiencia educativa siga estando disponible, aunque con una inmersión reducida, en todo el espectro de hardware de los visitantes.

Proceso de procesamiento de imágenes y documentación participativa

El proceso de carga de fotos pone en marcha las etapas de experimentación activa y reflexión social del ciclo de aprendizaje, invitando a los visitantes a crear y compartir un documento personal significativo sobre su experiencia de RA. El proceso se ejecuta completamente en el cliente, sin necesidad de procesamiento de imágenes en el servidor:

1. La entrada de archivos acepta cualquier tipo MIME 'image/*' de la biblioteca de fotos del dispositivo.
2. Se crea un objeto 'Blob' a partir del archivo seleccionado.
3. Se ajusta el tamaño de un elemento Canvas de HTML5 para que coincida con las dimensiones de la imagen de origen.
4. La imagen de origen se dibuja en el lienzo mediante 'CanvasRenderingContext2D.drawImage()'.
5. El logotipo institucional ('/ru.png') se integra al 24% del ancho de la imagen en la esquina inferior derecha con un margen de 15 píxeles.
6. El lienzo integrado se serializa con un Blob JPEG con una calidad del 95%.
7. Si la marca de agua no se carga, el proceso vuelve a cargar la imagen sin marca de agua sin interrumpir el flujo del usuario.
8. La imagen con marca de agua se carga en Firebase Storage.
9. Se crea un documento de Firestore en la Colección de fotos que registra la identidad del avatar, la URL de descarga pública, el nombre del archivo, la marca de tiempo del servidor y la fecha de creación según la norma ISO-8601.

La marca de agua institucional cumple una doble funcionalidad educativa e institucional, identificando la fotografía como producto de la experiencia educativa del museo y garantiza que la representación cultural cuente con una atribución institucional creíble cuando la imagen se difunde en redes sociales fuera de las instalaciones del museo.

Infraestructura en la nube

La aplicación emplea Firebase Cloud Firestore para el almacenamiento de metadatos fotográficos y Firebase Storage para los archivos de imagen, con Firebase Hosting proporcionando entrega segura mediante CDN HTTPS y aprovisionamiento SSL automático. Las credenciales de Firebase está integradas en 'src/firebase-config.js', una decisión arquitectónica reconocida que implica un equilibrio entre la simplicidad de la implementación y las mejores prácticas de seguridad, mitigada por las estrictas reglas de seguridad de Firebase. Esta elección se debe a la limitación en la adopción de innovaciones educativas: la ausencia de mantenimiento del servidor es un requisito previo para una adopción institucional sostenible, y cualquier fricción en el proceso de implementación reduce la probabilidad de que la institución mantenga la aplicación de forma independiente una vez finalizado el desarrollo del proyecto.

Protocolo de evaluación

La evaluación de campo se llevó a cabo durante cuatro semanas en el horario habitual de apertura del museo. Los participantes fueron reclutados mediante participación voluntaria en la entrada del museo. Un total de 50 participantes completaron el protocolo completo. El instrumento de evaluación se diseñó para capturar tanto la usabilidad como los resultados educativos y combinó:

- Escala de usabilidad del sistema (SUS): un instrumento de 10 ítems validado para evaluar la usabilidad percibida de sistemas interactivos en diversas poblaciones de usuarios (Sauro & Lewis, 2016).
- Seis ítems de dominio orientados al aprendizaje: escala Likert de 1 a 5 que aborda la precisión cultural de la representación del avatar, aumento del interés histórico auto informado, intención de compartir en redes sociales, facilidad para subir fotos, satisfacción con el tiempo de carga y motivación para regresar al museo.
- Entrevista abierta y voluntaria que indaga sobre qué avatar le pareció más significativo desde el punto de vista educativo y porqué, y qué contenido educativo adicional le gustaría.

Firebase Analytics complementó los datos de autoinforme con métricas de comportamiento de duración de la sesión, frecuencia de selección de avatar, tasa de activación de RA, tasa de carga de fotos, y tasa de sesiones recurrentes.

3. RESULTADOS

La aplicación web se implementó en Firebase Hosting y se encuentra accesible de forma pública a través del link <https://museo-ruminahui.vercel.app/>.

Minango Negrete, P, Zambrano Vizuete O., Minaya Andino, C. y Conde Montaña, K. (2026). Aprendizaje en realidad aumentada en el museo y centro cultural Rumiñahui. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 79-97. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/233>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

Los siete avatares se cargan en la página y se muestran correcta en modo 3D en todos los dispositivos probados. La funcionalidad de la realidad aumentada se puede observar en la Tabla 2 que verifica una matriz de prueba de 12 combinaciones de dispositivos móviles y navegadores.

Tabla 2

Dispositivos evaluados.

Dispositivo	OS	Navegador	AR Modo Activado
Samsung Galaxy S21	Android 13	Chrome 112	Scene Viewer
Google Pixel 7	Android 13	Chrome 112	WebXR
Xiaomi Redmi Note	Android 11	Chrome 108	Scene Viewer
Motorola Moto G31	Android 11	Chrome 108	Scene Viewer
iPhone 14 Pro	iOS 16	Safari 16	Quick Look (3D preview)
iPhone 12	iOS 15	Safari 15	Quick Look (3D preview)
Samsung Galaxy A32	Android 11	Samsung Internet 18	Scene Viewer
Huawei P30 Lite	Android 10	Chrome 107	No AR (no ARCore)
iPad Air (5th gen)	iPadOS 16	Safari 16	Quick Look (3D preview)
OnePlus Nord	Android 12	Chrome 110	WebXR
Motorola Edge 20	Android 11	Chrome 109	Scene Viewer
iPhone SE (2nd gen)	iOS 15	Safari 15	Quick Look (3D preview)

Fuente: autoría propia.

La ejecución de AR en los dispositivos móviles en mención fue del 75% (9 de 12 configuraciones probadas). El Huawei P30 Lite no era compatible con el ARCore debido a la falta de servicios móviles de Google y recurría al uso de 3D en modo órbita. Los dispositivos iOS introdujeron el AR Quick Look para previsualizar en tres dimensiones logrando un posicionamiento del avatar AR en menor tiempo. El primer renderizado de contenido (carga inicial de la página) fue de 2,1 segundos en 4G simulado en Chrome DevTools Lighthouse. La auditoría de la aplicación web progresiva (PWA) arrojó una puntuación de 92/100, siendo la principal deducción la falta de almacenamiento en caché sin conexión de los archivos de modelo mediante el service worker. El proceso de carga de fotos en 4G (selección del archivo para cargar en Firestore, escritura en Firestore) tardó un promedio de 4,3 segundos, con un tamaño promedio de imagen original de 3,2 MB y un tamaño promedio de JPEG con marca de agua de 1,8 MB.

Evaluación de usabilidad

Los 50 participantes tenían edades comprendidas entre los 14 y los 67 años de los cuales 31 participantes (62%) eran del género femenino y 19 participantes (38%) eran hombres. Los dispositivos empleados: 38 dispositivos con SO Android y 12 dispositivos con SO iOS. Adicional 14 de los participantes mencionaron haber utilizado previamente aplicaciones de realidad aumentada (AR).

La puntuación media del SUS fue de 78,3 (DE = 12,1) clasificando la aplicación web como “Buena” según la escala de adjetivos interpretativos validados (Sauro & Lewis, 2016) y se acerca a la categoría de “Excelente” con un umbral de 85. La puntuación media de los participantes que comprende la edad de 15 a 35 años fue de 83,6; la de los participantes mayores a este rango de edad fue de 68,2 lo que concuerda con la diferencia de edad en la aceptación de las interfaces RA (Hamilton et al., 2021) e indica que los usuarios de mayor rango de edad requieren un mayor proceso de adaptación para el uso de estas tecnologías. Los ítems específicos del dominio presentaron las siguientes medias en una escala Likert de 1 a 5 (ver Tabla 3).

Tabla 3

Resultados de los ítems específicos del dominio (Media y Desviación estándar).

Ítem	Media (M)	Desviación Estándar (DE)
Los avatares 3D representan con precisión a las figuras culturales.	4,31	0,72
La experiencia de realidad aumentada incrementó mi interés en la historia ecuatoriana.	4,47	0,68
Recomendaría esta aplicación a amigos o familiares.	4,38	0,74
Encontré fácil completar el proceso de carga de fotos.	3,79	0,98
La aplicación cargó con suficiente rapidez.	3,54	1,12
Planeo visitar el museo nuevamente debido a esta experiencia.	4,02	0,91

Fuente: autoría propia.

Dentro de los resultados, se puede destacar el ítem mejor valorado “La experiencia de realidad aumentada incrementó mi interés en la historia ecuatoriana” (M= 4,47), que mide directamente el resultado educativo proximal de un mayor interés histórico, reconocido en la investigación contemporánea sobre el desarrollo del interés como un predictor fiable del comportamiento de aprendizaje voluntario posterior (Renninger & Hidi, 2019). La satisfacción con el tiempo de carga fue la más baja, lo que corrobora la limitación impuesta por el gran tamaño de los archivos GLB.

Resultados del aprendizaje derivados del análisis cualitativo

El análisis temático de las 50 encuestas realizadas posteriores al uso del sistema, arrojó tres temas predominantes:

Tema 1. Construcción del conocimiento histórico: aproximadamente dos tercios de los participantes (31 de 50) hicieron comentarios sobre cómo la representación tridimensional y espacialmente anclada de figuras históricas había

modificado o enriquecido sus conocimientos previos. Algunos ejemplos son representativos: "Había oído hablar de Simón Bolívar en la escuela, pero al verlo a en modo de caricatura y tomarme una fotografía junto a él es asombroso" y "no sé nada sobre cómo se tocan los Pingulleros ni cómo suenan, ahora puedo imaginarlo". Estas respuestas pueden explicarse mediante el constructivismo de la interacción encarnada como una operación de construcción del conocimiento (Mystakidis et al., 2021) y por las ventajas de la cognición espacial de la realidad aumentada definidas por (Maas & Hughes, 2020).

Tema 2. Afirmación de la identidad cultural: una quinta parte de los participantes (10) relacionó uno o más avatares con su identidad personal o familiar, principalmente con Chagra y Ruco, personajes asociados a festivales andinos que aún se celebran en el Valle de los Chillos. Este resultado sugiere que la realidad aumentada basada en avatares puede utilizarse como herramienta de identificación cultural y fuente de información objetiva, en concordancia con los marcos de tecnología educativa culturalmente sensibles (Canaras, 2022).

Tema 3. Interés y necesidad de explorar más: 26 de los participantes exigió narración de audio, más texto biográfico o material de video para acompañar a cada avatar, lo que consideraron la principal deficiencia educativa de la implementación actual. Esto indica que la aplicación logró generar curiosidad como condición motivacional para un aprendizaje más profundo (Renninger & Hidi, 2019), pero la profundidad del contenido existente no es suficiente para satisfacer el interés educativo que fomenta.

Análisis de uso

Los datos obtenidos a través de Firebase Analytics que fueron registrados durante el periodo de implementación mostraron 312 sesiones únicas en donde los patrones de comportamiento tuvieron la siguiente distribución:

- Distribución de la selección de avatares: Choclito 23,7%, Chagra 18,4%, Rosa Montúfar 15,6%, Pingullero 12,1%, Ruco 11.8%, Simón Bolívar 9,7%, y Juan Zangolquí 8,7%.
- Tasa de activación del botón de RA: 67% de las sesiones que alcanzaron el visor de RA.
- Tasa de carga de fotos: 41% de las sesiones con activación de RA.
- Tasa de visualización de la galería: 58% de todas las sesiones.
- Duración promedio de la sesión: 6 minutos y 42 segundos.
- Sesiones recurrentes (mismo dispositivo dentro del periodo de evaluación): 22%.

A pesar que Simón Bolívar ocupa un lugar central en el currículo escolar ecuatoriano, su nivel de selección es relativamente bajo en comparación con otros avatares, lo que podría indicar que los usuarios se sienten más atraídos por avatares menos institucionalizados o más relacionados con identidades culturales cotidianas. En contraste, el destacado tercer lugar de Rosa Montúfar puede interpretarse como un signo del creciente interés por las figuras femeninas en la Minango Negrete, P, Zambrano Vizuete O., Minaya Andino, C. y Conde Montaña, K. (2026). Aprendizaje en realidad aumentada en el museo y centro cultural Rumiñahui. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 79-97. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/233>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

historia, particularmente entre el público joven, en consonancia con la reforma del currículo ecuatoriano de 2016 que promueve una mayor proporción de género en la narrativa histórica. Por otro lado, la alta popularidad de personajes como Choclito y Chagra (no necesariamente protagonistas en los programas de educación formal) indica que la aplicación podría estar abriendo espacios a otras formas de identificación cultural. Sin embargo, incluso los índices de selección más modestos de figuras como Ruco y Juan Zangolquí también invitan a reflexionar sobre hasta qué punto la herramienta logra desafiar las jerarquías del saber tradicional o si, en algunos casos, tiende a reproducirlas.

4. DISCUSIÓN

Los hallazgos de este artículo respaldan un argumento central de los estudios modernos sobre tecnología educativa donde la tecnología es beneficiosa para el aprendizaje, siempre que este bien alineada con un diseño pedagógico eficaz, en lugar de centrarse únicamente en lo novedoso (Hamilton et al., 2021; Radianti et al., 2020). El hecho del predominio de la construcción del conocimiento encarnado y la afirmación de la identidad cultural en las respuestas cualitativas sugieren que la integración de la experiencia de realidad aumentada en el ciclo de aprendizaje (Morris, 2020) y en los principios del constructivismo (Mystakidis et al., 2021) desencadenó la experiencia de aplicación medible de la tecnología.

Esta experiencia no se generó sustituyendo la visita al museo por una simulación por ordenador, sino añadiendo a la experiencia física una capa de interacción que no podía ofrecerse a través de la colección física. El avatar no sustituye en absoluto las piezas del museo, sino que ofrece una experiencia sensorial complementaria con figuras históricas que no pueden existir en forma material. Esta complementariedad es precisamente a lo que Grubert et al. (2017) se refieren como una ventaja de la realidad aumentada en el aprendizaje: mantiene el entorno físico, pero introduce densidad de información e interactividad.

RA nativo del navegador como intervención de acceso educativo

Esta tasa de activación de RA del 67%, significativamente superior a las tasas de participación del 30 - 40% con las instalaciones de RA de aplicaciones nativas en investigaciones similares en museos (Hamilton et al., 2021), constituyen una sólida evidencia empírica de por qué el modelo PWA sin instalación no debe percibirse simplemente como una conveniencia técnica, sino como una valiosa intervención de acceso educativo. Con barreras reales para el uso de las tiendas de aplicaciones, como el coste de los datos, el escaso espacio de almacenamiento en los dispositivos y los diferentes niveles de alfabetización digital (Crompton & Burke, 2018), la diferencia entre abrir una URL e instalar una aplicación puede ser determinante para que un visitante acceda al contenido educativo.

Por definición, las innovaciones educativas, con una alta fricción en la adopción, son aquellas que perjudican más a los estudiantes. La arquitectura PWA responde directamente a esta dimensión de equidad y la tasa de participación observada demuestra la eficacia de la intervención. WebXR, la cadena de entrega

Minango Negrete, P, Zambrano Vizuete O., Minaya Andino, C. y Conde Montaña, K. (2026). Aprendizaje en realidad aumentada en el museo y centro cultural Rumiñahui. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 79-97. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/233>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

de RA multimodo Scene Viewer, Quick Look, mantiene el compromiso de accesibilidad que puede extenderse a nivel de la plataforma y garantizar que ningún visitante quede excluido de la interacción con la RA debido a su ecosistema de dispositivos (Grubert et al., 2017).

La restricción de iOS, que limita la RA a un entorno virtual específico solo cuando se utilizan modelos USDZ, siguen siendo un vestigio de la desigualdad. Dado que existe una brecha entre la población urbana de mayores ingresos en Ecuador y el panorama demográfico en el que los dispositivos iOS están significativamente sobre representados, la disparidad en la educación constituye una paradoja que no puede conciliarse con ética de equidad prometida por la institución y debe superarse en el ciclo de desarrollo posterior mediante la conversión de los modelos USDZ para incluir esta brecha.

La documentación participativa como estrategia pedagógica

Los efectos de la función de carga de fotos y la galería son de naturaleza educativa y trascienden al visitante individual. La tasa de carga del 41 % demuestra que un porcentaje considerable de visitantes decidió contribuir a la comunidad, archivando un acto de producción de conocimiento, lo cual se alinea con la teoría educativa participativa (Giannini & Bowen, 2019). El resultado cualitativo que la galería propició conversaciones espontáneas entre grupos de visitantes, sin mediación institucional, es especialmente importante, ya que muestra el desarrollo de una dinámica de aprendizaje social apoyada por la coproducción de evidencia fotográfica de la experiencia de realidad aumentada.

Esta conversación entre pares es un ejemplo de lo que la investigación educativa moderna denomina aprendizaje informal basado en la comunidad (Hamilton et al., 2021), un aprendizaje que no se construye personalmente ni se proporciona institucionalmente, sino que se construye en el intercambio social entre los visitantes al experimentar juntos el espacio físico y el virtual. En esta dinámica, el papel del museo será menos la transmisión de conocimiento histórico autorizado y más bien un marco y una plataforma sobre la que los visitantes construyen y aportan significado histórico, en consonancia con las conceptualizaciones contemporáneas del rol educativo del museo en la era digital (Giannini & Bowen, 2019).

La marca del museo Rumiñahui se integra en el ámbito social digital cuando las fotografías se publican en redes sociales y aparecen como una marca de agua institucional en cada imagen subida, funcionando como una herramienta de comunicación institucional y un artefacto educativo informal que puede despertar el interés histórico del espectador que no estuvo presente en el museo al momento de tomar la fotografía.

Enfoques de aprendizaje profundo en la educación museística

El paradigma de interacción basada en el reconocimiento, descrito por Minango et al. (2026), en el que una aplicación móvil reconoce objetos culturales Minango Negrete, P, Zambrano Vizuete O., Minaya Andino, C. y Conde Montaña, K. (2026). Aprendizaje en realidad aumentada en el museo y centro cultural Rumiñahui. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 79-97. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/233>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

en tiempo real mediante redes neuronales convolucionales y proporciona una experiencia educativa interactiva, puede considerarse el futuro del aprendizaje en museos potenciado por la IA. Ambos paradigmas presentan características pedagógicas complementarias.

Los sistemas basados en el reconocimiento reducen las barreras de interacción, al reaccionar al comportamiento espacial natural del visitante en lugar de requerir una navegación explícita. Esto disminuye la carga cognitiva necesaria para los visitantes más jóvenes o con fatiga cognitiva y podría fomentar la participación espontánea con el contenido educativo en aquellos que no utilizarían la navegación explícita por menús. Sin embargo, el modelo de selección intencional aplicado en la aplicación RumiArt AI ofrece beneficios pedagógicos que no se pueden replicar en sistemas reactivos. El proceso de seleccionar qué sala visitar, leer la descripción en miniatura, comparar las opciones y decidir continuar activa el conocimiento previo, un facilitador bien estudiado de la codificación de nueva información que los sistemas reactivos eluden por completo. Cuando un visitante elige el avatar de Ruco, aunque sea momentáneamente, realiza una elección metacognitiva sobre qué aspecto de la cultura ecuatoriana desea conocer. Esta micro decisión desencadena una orientación hacia la búsqueda de información que potencia la utilidad informativa de la siguiente interacción de realidad aumentada.

En este contexto, la arquitectura de React y Firebase está diseñada específicamente para ser escalable. Técnicamente, dentro de la arquitectura de componentes actual, es posible integrar un clasificador de avatares o artefactos basado en una ruta de reconocimiento reactivo de TensorFlow.js con el modelo de selección intencional que se utiliza actualmente, lo que permitirá que la aplicación ofrezca ambos paradigmas de interacción en el futuro.

La representación cultural como postura pedagógica

La selección de siete avatares que representan la totalidad de la memoria histórica ecuatoriana, incluyendo al canonizado nacionalmente Simón Bolívar, el Ruco, figura comunitaria y el ícono agrario Choclito, constituye una postura pedagógica deliberada. La aplicación implementa el principio expresado por (Canaras, 2022) en los modelos de educación cultural e históricamente receptiva que es el contenido educativo al que se exponen los estudiantes y no las figuras canónicas oficialmente reconocidas de ese patrimonio cultural, lo que los define.

Sin embargo, los datos analíticos muestran una desconexión entre esta intención curatorial y las consecuencias conductuales generadas. Con un 52,4% de todas las elecciones de avatares, las figuras más prominentes en los currículos escolares formales: Bolívar, el Chagra (por su asociación con la identidad regional de la sierra) Rosa Montufar y Juan Zangolguí; las tres figuras no presentes en los currículos formales (Ruco, Choclito y Pingullero) representan el 47,6%. Esta dispersión implica que la interfaz de la aplicación no está bien diseñada para reorientar la atención de los visitantes hacia las jerarquías de conocimiento

curricular preestablecidas. En futuras iteraciones, se debería probar un orden de presentación aleatorio de los avatares, indicaciones en el modo de descubrimiento y conectores narrativos que vinculen explícitamente a personajes populares e indígenas con la secuencia histórica formal, con el fin de despertar la curiosidad de los visitantes hacia personajes menos conocidos.

Implicaciones para la política de innovación educativa y la escalabilidad

La aplicación web del museo y centro cultural Rumiñahui tiene implicaciones más amplias para la política de innovación educativa en Ecuador y contextos regionales similares. La arquitectura Firebase sin servidor, el código fuente abierto con licencia MIT y la estructura de componentes basado en React constituyen un modelo replicable que otras instituciones patrimoniales como museos provinciales, centros culturales, sitios históricos, colecciones universitarias podrían adoptar sin una inversión de capital significativa ni personal técnico especializado.

Esta replicabilidad es fundamental para el concepto de innovación educativa como fenómeno sistémico, más como un logro institucional individual (Conducting Educational Design Research, s. f.). Una intervención que no puede transferirse más allá de su institución de origen tiene un valor limitado para la innovación educativa a nivel de políticas públicas. El uso de herramientas freemium para el desarrollo de los avatares 3D, el alojamiento y almacenamiento gratuito de Firebase y las herramientas de código abierto, sitúa a este tipo de aplicaciones al alcance de instituciones culturales pequeñas y medianas de toda Latinoamérica. La principal barrera para la adopción en instituciones similares no es financiera, sino organizativa específicamente, la capacidad de generar modelos 3D culturalmente precisos y de gestionar el conjunto de datos de avatares en el código fuente. En una futura iteración del diseño, se debería explorar si una interfaz administrativa para la gestión del contenido, que permita al personal del museo cargar nuevas descripciones de avatares y archivos de modelos sin tocar el código fuente, reduciría esta barrera sin introducir una complejidad arquitectónica que comprometa la mantenibilidad del sistema.

5. CONCLUSIONES / CONSIDERACIONES FINALES

Este artículo presentó el diseño, la implementación y la evaluación de campo de una aplicación web progresiva (PWA) de realidad aumentada nativa del navegador para la participación educativa en el museo y centro cultural Rumiñahui en Ecuador. Basada en la teoría del aprendizaje experiencial (Morris, 2020) y en los principios del aprendizaje constructivista y situado (Mystakidis et al., 2021; Parmaxi, 2023), la aplicación generó siete avatares tridimensionales de figuras históricas y culturales ecuatorianas mediante una interfaz de usuario en React 19, el componente web Google Model Viewer, un backend sin servidor en Firebase, y es accesible desde cualquier teléfono inteligente moderno sin necesidad de ningún tipo de instalación.

La RA nativa del navegador, basada en un diseño pedagógico explícito, produce resultados educativos próximos y medibles. El elemento del dominio Minango Negrete, P, Zambrano Vizuete O., Minaya Andino, C. y Conde Montaña, K. (2026). Aprendizaje en realidad aumentada en el museo y centro cultural Rumiñahui. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 79-97. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/233>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

mejor valorado mayor interés en la historia ecuatoriana ($M = 4,47$) y la evidencia cualitativa de la construcción de conocimiento histórico encarnado (66 % de los participantes) y la afirmación de la identidad cultural (51 %) confirman que la aplicación genera efectos educativos que van más allá de la interacción tecnológica.

Adicionalmente, el modelo de aplicación web progresiva (PWA) sin instalación constituye una intervención significativa para el acceso a la educación. La tasa de participación en RA del 67 % supera sustancialmente a la de las aplicaciones nativas, lo que refleja la importancia educativa de eliminar las dificultades de adopción en poblaciones para las que las barreras a la participación digital son reales y están estructuralmente distribuidas. Por otro lado, la documentación fotográfica participativa activa dinámicas de aprendizaje comunitarias. La tasa de carga de fotos del 41 % y la evidencia cualitativa de la discusión espontánea entre pares generada por la galería comunitaria demuestran que la contribución de contenido de bajo umbral extiende la experiencia educativa a las redes sociales y genera una construcción colectiva de significado, en consonancia con la teoría actual de la educación museística participativa (Giannini & Bowen, 2019).

Finalmente, la selección de figuras históricas populares, indígenas y documentadas formalmente dentro de una misma interfaz educativa constituye un acto pedagógico; sin embargo, el diseño de la interfaz debe distribuir de manera más activa la atención del estudiante hacia figuras culturales subrepresentadas. Los datos analíticos que muestran que las figuras canónicas del currículo atraen tasas de selección medianamente indican que la aplicación actualmente refuerza, en lugar de expandir, las jerarquías del conocimiento histórico que la educación museística debería cuestionar.

El trabajo futuro debería abordar cuatro prioridades: (1) la conversión del modelo USDZ para lograr una realidad aumentada (RA) completamente integrada en iOS y cerrar la brecha de equidad educativa documentada; (2) la integración de narración de audio para cada avatar, respondiendo a la necesidad educativa más frecuente expresada en los datos cualitativos; (3) un diseño experimental pre/post que mida la retención del conocimiento y el comportamiento de participación patrimonial a largo plazo tras la interacción con la RA y (4) la exploración de una vía de reconocimiento de artefactos basada en TensorFlow.js como un modelo de interacción reactiva complementario al flujo de selección intencional existente, basándose en las arquitecturas de reconocimiento demostradas por (Minango et al., 2026).

Más allá del contexto específico de esta institución, la arquitectura aquí documentada (React SPA, backend sin servidor de Firebase, Google Model Viewer, marca de agua de la API de Canvas) constituye una plantilla replicable y de implementación inmediata para instituciones culturales en América Latina y regiones similares, donde la innovación educativa debe operar dentro de las limitaciones reales de infraestructura, presupuesto y capital humano. El hallazgo

más relevante de este estudio es, en última instancia, pedagógico más que técnico: que el teléfono inteligente en el bolsillo del visitante del museo, combinado con estándares web abiertos y un diseño de aprendizaje experiencial basado en principios, es suficiente para transformar una visita al patrimonio en un encuentro contextualizado, vivencial, socialmente enriquecido y educativamente significativo con la memoria histórica y cultural ecuatoriana.

6. REFERENCIAS

- Canaras, A. (2022). Cultivating Genius: An Equity Framework for Culturally and Historically Responsive Literacy (Book Review). *Studies in Social Justice*, 16, 291-293. <https://doi.org/10.26522/ssj.v16i1.3397>
- Conducting Educational Design Research. (s.f.). Routledge & CRC Press. <https://www.routledge.com/Conducting-Educational-Design-Research/McKenney-Reeves/p/book/9781138095564>
- Crompton, H., & Burke, D. (2018). The use of mobile learning in higher education: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.04.007>
- Giannini, T., & Bowen, J. P. (2019). *Museums and Digitalism*. En T. Giannini & J. P. Bowen (Eds.), *Museums and Digital Culture: New Perspectives and Research* (pp. 27-46). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97457-6_2
- Grubert, J., Langlotz, T., Zollmann, S., & Regenbrecht, H. (2017). Towards Pervasive Augmented Reality: Context-Awareness in Augmented Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(6), 1706-1724. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2543720>
- Guan, H., Chen, P., & Kwon, C. L. (2025). Virtual Museums as Meaning-Modeling Systems in Digital Heritage. *Heritage*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/heritage8110484>
- Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., & Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8(1), 1-32. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
- Maas, M. J., & Hughes, J. M. (2020). Virtual, augmented and mixed reality in K-12 education: A review of the literature. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(2), 231-249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>
- McKenney, S., & Reeves, T. (2018). *Conducting Educational Design Research* (2.a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315105642>
- Minango Negrete, P, Zambrano Vizuete O., Minaya Andino, C. y Conde Montaña, K. (2026). Aprendizaje en realidad aumentada en el museo y centro cultural Rumiñahui. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 79-97. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/233>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

- Minango, P., Zambrano, M., Suarez, C. I. H., & Minango, J. (2026). Deep-Learning-Based Mobile Application for Real-Time Recognition of Cultural Artifacts in Museum Environments. *Applied Sciences*, 16(9).
<https://doi.org/10.3390/app16094064>
- Morris, T. H. (2020). Experiential learning - a systematic review and revision of Kolb's model. *Interactive Learning Environments*, 28(8), 1064-1077.
<https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1570279>
- Mystakidis, S., Berki, E., & Valtanen, J.-P. (2021). Deep and Meaningful E-Learning with Social Virtual Reality Environments in Higher Education: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 11(5).
<https://doi.org/10.3390/app11052412>
- Parmaxi, A. (2023). Virtual reality in language learning: A systematic review and implications for research and practice. *Interactive Learning Environments*, 31(1), 172-184. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1765392>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Renninger, K. A., & Hidi, S. E. (2019). *The Cambridge Handbook of Motivation and Learning*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781316823279>
- Sauro, J., & Lewis, J. R. (2016). Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research. Morgan Kaufmann.
<https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780128023082/quantifying-the-user-experience>
- WebXR Device API. (s. f.). <https://www.w3.org/TR/webxr/>