https://doi.org/10.17163/abyaups.78.568

Reconstrucción de un tramo del Qhapaq Ñan para su puesta en valor mediante un sistema de realidad virtual

Rafael Augusto Campoverde Durán
Universidad Politécnica Salesiana, Quito (Ecuador)
rcampoverde@ups.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-9025-077X

Introducción

En la actualidad en arqueología a menudo se trabaja sin pala, diversos dispositivos geomagnéticos, permiten a los arqueólogos conocer yacimientos que se encuentran bajo tierra, antes de comenzar las excavaciones (DW, 2018), en el caso de que los restos arqueológicos se encuentren al aire libre, es posible utilizar la fotogrametría, tecnología que consiste en tomar una serie de fotografías aéreas del sitio, con el objetivo de generar un modelo en tres dimensiones, el cual se puede manipular utilizando un programa de modelado 3D, como es el caso de Blender (2023), cuando los restos están en ruinas o incompletos es factible reconstruir las partes faltantes con base en hipótesis sustentadas en documentación histórica existente, proceso que se debe realizar con rigurosidad científica.

Por otra parte, también existen yacimientos arqueológicos cubiertos por vegetación, en este caso conviene utilizar la tecnología LiDAR, que consiste en escanear el bien patrimonial desde el aire utilizando un dron equipado con una cámara especial, mediante haces de rayos láser

que pueden "colarse" a través de la vegetación obteniendo un modelo tridimensional al que posteriormente se le puede separar la capa vegetal, igual que en la situación anterior en caso de que el sitio esté incompleto, es factible proceder a la reconstrucción virtual del mismo, mediante el modelado directo en tres dimensiones.

El modelo virtual obtenido en los procesos anteriores se puede poner a disposición del público para su visualización por medio de la Realidad Virtual (RV), tecnología que sumerge al usuario en un entorno inmersivo generado por computador y que además de mostrar el bien patrimonial reconstruido permite interactuar con él, siendo este un recurso tecnológico efectivo para facilitar la interpretación de los sitios de una manera lúdica y entretenida.

Estado del arte

La arqueología virtual

El término "arqueología virtual" se acuñó en los años noventa del siglo pasado para referirse a la elaboración de modelos informáticos de apoyo a la investigación e interpretación del patrimonio arqueológico (Reilly, 1990), aunque las primeras reconstrucciones virtuales de espacios arqueológicos datan de los años ochenta (Rivero, 2011). Con la incorporación de las nuevas tecnologías al campo de la arqueología, se ha hecho necesario establecer un conjunto de recomendaciones para regular la práctica de esta nueva disciplina. Con este fin en el año 2011 se redactaron los Principios de Sevilla, contenidos en la conocida Carta de Sevilla. En este documento se define la arqueología virtual como: "la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico" (López-Menchero y Grande, 2011). La Carta de Sevilla asume los siguientes objetivos:

- Generar criterios fácilmente comprensibles y aplicables por toda la comunidad de expertos, ya sean estos informáticos, arqueólogos, arquitectos, ingenieros, gestores o especialistas en general en la materia.
- Establecer directrices encaminadas a facilitar al público un mayor entendimiento y mejor apreciación de la labor que desarrolla la disciplina arqueológica.
- Establecer principios y criterios que sirvan para medir los niveles de calidad de los proyectos que se realicen en el campo de la arqueología virtual.
- Promover el uso responsable de las nuevas tecnologías aplicadas a la gestión integral del patrimonio arqueológico.
- Contribuir a mejorar los actuales procesos de investigación, conservación y difusión del patrimonio arqueológico mediante el uso de nuevas tecnologías.
- Abrir nuevas puertas a la aplicación de métodos y técnicas digitales de investigación, conservación y difusión arqueológica.
- Concienciar a la comunidad científica internacional de la necesidad imperante de aunar esfuerzos a nivel mundial en el creciente campo de la arqueología virtual (p.72).

La virtualización del patrimonio

La virtualización del patrimonio se refiere al uso de tecnologías digitales para crear representaciones virtuales de sitios arqueológicos, artefactos y otros elementos del patrimonio cultural como pueden ser edificaciones. Estas representaciones permiten a las personas explorar y experimentar con los bienes del patrimonio de manera interactiva por medio de computadoras, celulares, tabletas y gafas de RV. Detrás de todo proceso de virtualización existe una fase de estudio y análisis para obtener la mayor cantidad de datos contrastados acerca del sitio arqueológico, antes de proceder a su reconstrucción y visualización, proceso que se debe realizar de manera rigurosa y científica.

En la mayoría de los casos se pueden identificar cuatro pasos en el proceso de virtualización de bienes patrimoniales, que en resumen son los siguientes:

1. **Levantamiento de la información**: se realiza utilizando diferentes tecnologías como son la fotogrametría y el escáner láser 3D o LiDAR. La fotogrametría consiste en la reconstrucción virtual en tres dimensiones de objetos y lugares utilizando técnicas fotográficas, permite elaborar objetos en 3D a partir de la superposición de diferentes imágenes del propio objeto o superficie. Por otra parte, el escáner láser 3D es un dispositivo que analiza un objeto o una superficie dentro de un campo limitado, mediante un rayo de luz láser y una cámara digital sincronizada, para reunir datos de su forma y color, con esta tecnología se obtiene una nube de puntos tridimensional que sirve para construir modelos digitales tridimensionales. Actualmente estas tecnologías tienen una gran aplicabilidad en el campo de la conservación y restauración del patrimonio.
2. **Obtención del modelo 3D**: se realiza a partir de la nube de puntos obtenida con los procesos mencionados anteriormente, esta consiste en un conjunto de puntos en el espacio tridimensional que representan la superficie del bien patrimonial. Cada punto en la nube de puntos tiene coordenadas (x, y, z) que indican su posición en el espacio tridimensional. Una vez obtenida la nube de puntos se debe realizar un proceso de filtrado y limpieza de la misma ya que los datos obtenidos pueden contener ruido o puntos dispersos. Es común aplicar filtros y técnicas de limpieza para eliminar o reducir estos desperfectos y obtener una representación más precisa del objeto o escena, también en el caso de la tecnología LiDAR se puede separar la capa vegetal obteniendo un modelo 3D de la superficie, posteriormente este modelo se puede manipular utilizando un software de modelado 3D.
3. **Reconstrucción virtual**: frecuentemente los sitios arqueológicos y los edificios patrimoniales se encuentran en ruinas o incompletos y en muchos casos no existen referencias de cómo estaban construidos

exactamente, siendo necesario consultar a expertos, arqueólogos e historiadores, para poder interpretarlos correctamente y proceder a su reconstrucción virtual. Se trata de elaborar varias hipótesis de cómo puedo haber sido el bien patrimonial en el pasado, que se deben realizar con rigurosidad histórica y científica evitando las falsas interpretaciones. Los modelos tridimensionales obtenidos en la etapa anterior se deben completar mediante el modelado tridimensional usando software específico para este efecto, en la reconstrucción de sitios arqueológicos y edificios patrimoniales se puede trazar una escala de graduación que muestre la hipótesis reconstructiva que más consenso haya tenido luego de consultar a los expertos.

4. **Visualización mediante RV:** el modelo digital en tres dimensiones obtenido en las etapas anteriores se puede poner a disposición del público para su visualización en un entorno inmersivo de RV, sea en un museo o directamente en el sitio, de esta manera las personas pueden interactuar con los sitios arqueológicos, los artefactos o las edificaciones, de manera entretenida, facilitando la interpretación de los bienes patrimoniales. El tramo del Qhapaq Ñan comprendido entre Achupallas e Ingapirca objeto de este estudio es un sitio remoto de acceso restringido solamente a personas con ciertas condiciones físicas, debido a la altura sobre el nivel del mar y ubicación geográfica, por esta razón es importante hacer accesible este bien patrimonial mediante la tecnología de RV.

La virtualización del patrimonio arqueológico no solo tiene aplicaciones en la difusión y educación, sino que también se constituye en una herramienta valiosa para la conservación y preservación, ya que permite documentar digitalmente sitios antes de realizar excavaciones o restauraciones, y puede contribuir a la gestión sostenible de los recursos arqueológicos. Además, estas tecnologías pueden facilitar la colaboración entre arqueólogos, conservadores, y el público en general, promoviendo un mayor acceso y comprensión del patrimonio cultural. Posteriormente los modelos en tres dimensiones se pueden materializar mediante el uso de la impresión 3D.

La realidad virtual

Las aplicaciones de RV sumergen al usuario en un entorno generado por ordenador que simula la realidad mediante el uso de dispositivos interactivos, que envían y reciben información como: gafas, cascos, guantes y trajes especiales. En un formato típico de RV, un usuario lleva unas gafas con una pantalla estereoscópica y visualiza imágenes animadas de un entorno simulado. La ilusión de "estar allí" (telepresencia) se realiza mediante sensores que captan los movimientos del usuario y ajustan la vista en la pantalla en tiempo real, en el instante mismo en que se produce el movimiento. Por lo tanto, un usuario puede recorrer un conjunto simulado de habitaciones, experimentando puntos de vista y perspectivas cambiantes que están relacionados de manera convincente con sus propios giros y movimientos de cabeza. Usando guantes de datos equipados con dispositivos de retroalimentación de fuerza que brindan la sensación del tacto, el usuario puede incluso recoger y manipular objetos que ve en el entorno virtual (Enciclopedia Británica, 2020).

En la actualidad, varias empresas están invirtiendo en el desarrollo de sus propios sistemas de RV. El auge de los teléfonos inteligentes con pantallas de alta resolución y capacidades de procesamiento 3D ha permitido el desarrollo de dispositivos de RV más ligeros, baratos y accesibles para los usuarios. El software que se utiliza para desarrollar contenido de RV ha mejorado. Es más gráfico con una cantidad pequeña de codificación requerida, los usuarios con menos experiencia en programación y codificación son capaces de desarrollar contenido de RV usando diferentes plataformas (Sciencefocus, 2020).

La RV es una industria que se promociona a sí misma como creadora de "experiencias", un pequeño error en una aplicación puede tener un efecto negativo en los visitantes. Para entender cómo y dónde la RV influirá en la experiencia del turista, se deben comprender las motivaciones del viaje y determinar el valor que las tecnologías de RV pueden aportar durante el recorrido, con el fin de crear aplicaciones significativas que mejoren la experiencia turística cultural, por lo que la información

contextual juega un papel clave en la definición y diseño del valor agregado de las aplicaciones de RV.

Al presentar el producto turístico, se debe considerar cómo este producto crea significado para el visitante, cómo se conecta con sus valores y le permite crear su propia versión de la experiencia. Aquí es donde el diseño centrado en el visitante es importante y en particular la empatía con el usuario, tener un nivel profundo de comprensión permite a los diseñadores de RV crear capas emocionalmente atractivas para mejorar la experiencia en los sitios de turismo cultural (Kouprie y Visser, 2009).

Los estudios en turismo generalmente se centran en cómo mejorar la experiencia del visitante, sin embargo, se debe tener en cuenta que la experiencia no se limita a las actividades y participación en el sitio arqueológico, sino que tiene un alcance más amplio antes y después, eso puede influir en la percepción general y en los recuerdos de los visitantes.

Dar a conocer los hallazgos arqueológicos al gran público es la etapa más significativa en el proceso de gestión del patrimonio, es importante facilitar a los usuarios el acceso a los bienes culturales. La difusión y la promoción son dos actividades de la gestión estrechamente relacionadas entre sí, la principal diferencia entre las dos radica en que la primera está asociada a educar y dar a conocer un legado, mientras que la segunda tiene un importante componente de marketing y pretende obtener recursos económicos para invertirlos en el propio bien.

La gestión del patrimonio

El patrimonio es un legado, y solo tiene valor en la medida en que es reconocido y tiene significado en la vida de un individuo, grupo o comunidad.

> La gestión del patrimonio cultural se vierte en un proceso participativo construido en la cotidianeidad y de forma conjunta y abierta, a través de la interacción de diferentes actores que cooperan entre sí para dis-

> frutar de ese patrimonio, y asegurar al mismo tiempo su transmisión a las generaciones futuras y su viabilidad en el tiempo. (Monsalve, 2011)

Bernárdez (2003) define a la gestión cultural como: "La administración de los recursos de una organización cultural con el objetivo de ofrecer un producto o servicio que llegue al mayor número de públicos o consumidores, procurándoles la máxima satisfacción".

Los sitios arqueológicos son bienes culturales que deben ser administrados y gestionados de manera consciente, tanto desde la perspectiva de su protección y conservación como de su explotación, siempre tomando en cuenta que son únicos y no renovables. La gestión de los bienes culturales tiene como objetivo, el mismo que cualquier empresa pública o privada y es el de buscar un beneficio económico, que en el caso concreto de la gestión cultural debe contribuir a su propia conservación y se debe realizar con criterios de sostenibilidad y no de sobreexplotación.

Según Monsalve (2011):

> El primer paso en la gestión del patrimonio es su identificación a través del registro, la catalogación y la construcción de inventarios, ya que es imposible poner en valor, difundir y sensibilizar sobre lo que no se conoce. Una vez identificadas aquellas expresiones tangibles e intangibles del patrimonio, que se pretenden salvaguardar por su valor cultural, social o económico, entonces es posible empezar a pensar cómo gestionarlas para lograr su salvaguarda y viabilidad.

Las características que priman en la gestión cultural son dos: la conservación o protección del bien y la exigida por la gestión para generar un beneficio, los bienes culturales procuran beneficio cultural y beneficio económico. Desde la antigüedad los bienes culturales han sido objeto de aprecio, han despertado la curiosidad y reclamado su conservación, pero estas tareas recaían en sus poseedores, que en gran medida eran las monarquías, la iglesia y los coleccionistas particulares.

Hay distintos modelos de gestión en relación con el tipo y objetivo de la organización, existen organizaciones dependientes de la administra-

ción pública como los gobiernos locales, las universidades y las empresas públicas. Otro tipo de administración es la que acoge una determinada organización tutelar institucional por medio de un patronato, junta o consejo. Por último, están los tipos de modelos de organización independiente no lucrativas y las empresas privadas unipersonales o constituidas en sociedad.

Es importante destacar que el Estado es el principal cliente tomando en cuenta que la cultura es un valor en alza en el denominado estado del bienestar. Sin embargo, dado que la perspectiva está cambiando, se hace necesaria una mayor eficacia en la gestión de lo público y un mayor protagonismo de la iniciativa privada. Esto es fundamental para que el patrimonio cultural siga cumpliendo su cometido en una sociedad democrática moderna. Este cometido exige servir a la memoria colectiva, contribuir a la educación de todos y proporcionar recursos a la industria cultural. Este enfoque es asumido y difundido por la comunidad europea e internacional y en diferentes documentos ponen de relieve la importancia de las actividades culturales para la sociedad y su potencial para la creación de empleo (García, 2014).

Caso de estudio

El Camino del Inca, también conocido como Qhapaq Ñan, es una extensa red de antiguos caminos preincaicos e incaicos de unos 30 000 kilómetros de extensión y que durante el siglo XV los incas los unificaron, con vistas a facilitar las comunicaciones, los transportes, el comercio y las estrategias militares, conecta diversos lugares importantes del vasto imperio incaico que en el pasado se conoció como Tawantinsuyu.

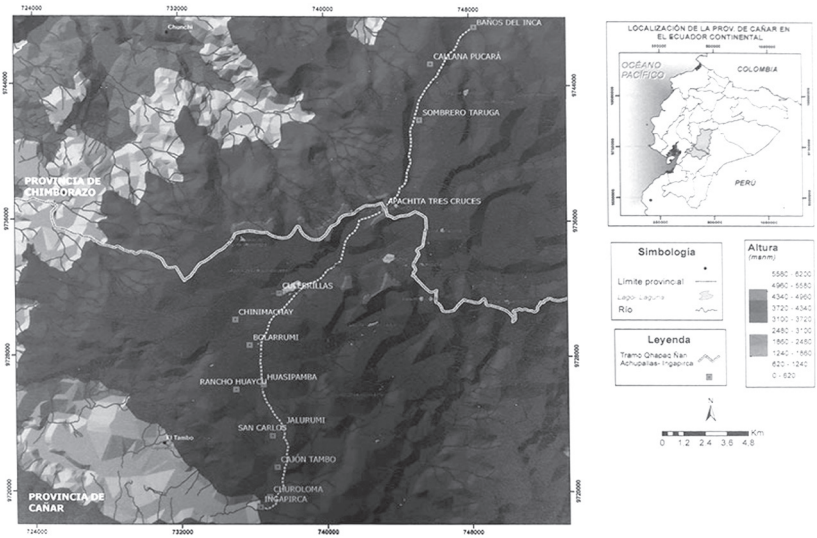
Este bien patrimonial fue inscrito en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO, en la categoría de Itinerario Cultural, el 21 de junio de 2014, durante la 38° Reunión del Comité de Patrimonio Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

> El nuevo sitio del patrimonio mundial, que consta de 274 componentes y se extiende a lo largo de más de 5000 kilómetros. Los componentes se han seleccionado para poner de relieve la importante función social y política de la red viaria; las obras maestras de arquitectura e ingeniería y las infraestructuras conexas dedicadas a las actividades mercantiles, el alojamiento y el almacenamiento de mercancías; y los sitios con un significado religioso. (UNESCO, 2023)

Al ser un bien patrimonial destacado es importante en primera instancia diagnosticar su estado de conservación principalmente en el tramo comprendido entre Achupallas e Ingapirca ubicado en la provincia de Cañar en el sur de Ecuador, mostrado en la figura 1, con el fin de promover su conservación y puesta en valor, además de hacerlo accesible mediante el uso de la realidad virtual.

Figura 1

Localización de sitios arqueológicos Incas relacionados con el Qhapaq Ñan



Nota. Mapa de la provincia del Cañar con el tramo del camino del Inca comprendido entre Ingapirca y Achupallas. Foto tomada del Museo Arqueológico de Ingapirca.

Para la reconstrucción virtual y su posterior visualización con realidad virtual se ha tomado el tramo que se encuentra a 500 m del costado derecho de la laguna de Culebrillas, mostrado en la figura 2, a una altitud de 4012 metros sobre el nivel del mar, ya que además en ese lugar se encuentra el sitio arqueológico de Paredones, que fue un antiguo tambo real inca, sitio de descanso de los antepasados que transitaban por ese lugar.

Figura 2
Laguna de culebrillas y sitio arqueológico de Paredones

Nota. El camino del Inca transcurre por el lado derecho de la laguna de Culebrillas, lugar donde también se encuentran las ruinas de Paredones.

Metodología

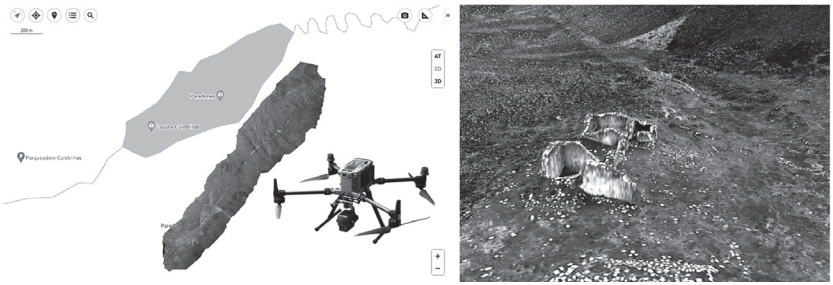
Como metodología se ha seguido el proceso de virtualización del patrimonio, que como se ha expuesto anteriormente consta de cuatro pasos:

1. Levantamiento de la información: se usó fotogrametría y escáner laser 3D.
2. Obtención del modelo 3D: se obtuvo un modelo en 3D a partir de una nube de puntos.
3. Reconstrucción virtual: se usó el programa de modelado 3D Blender.
4. Visualización mediante RV: en esta etapa se debe desarrollar una aplicación de RV.

Siguiendo con la metodología se realizó una primera exploración para levantar la información, de la cual se obtuvo una nube de puntos y a partir de esta un modelo tridimensional (figura 4). Como se puede evidenciar en la imagen, el sitio arqueológico se encuentra en ruinas por lo que a continuación se procedió a la reconstrucción virtual completándolo mediante modelado 3D, usando el programa de software libre Blender (Blender, 2024), para la reconstrucción se usaron fuentes históricas, así como fotografías de referencia de las ruinas (figura 5).

Figura 4

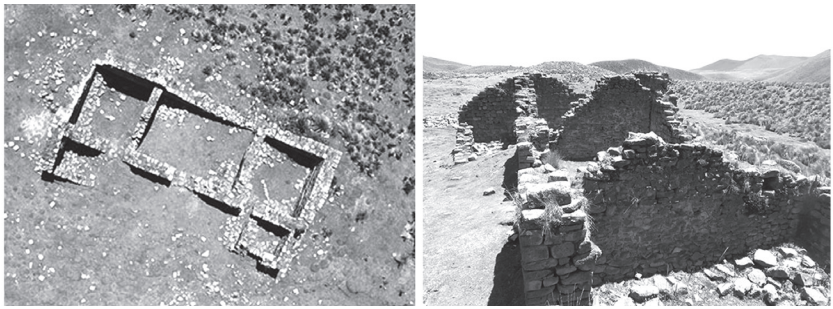
Levantamiento de la información y nube de puntos de las ruinas de Paredones



Nota. Se puede apreciar a la derecha de las ruinas de Paredones el trazado del camino del Inca.

Figura 5

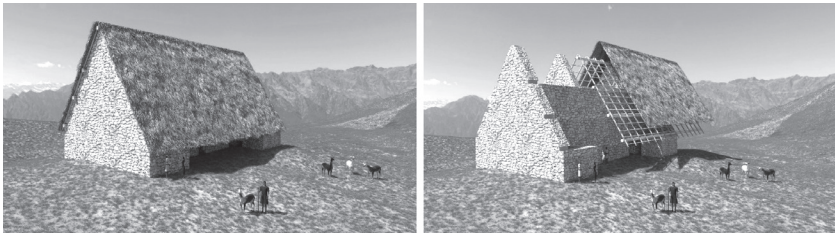
Fotografías de referencia de las ruinas de Paredones



Resultados

Con base en la información anterior, se obtuvo la reconstrucción virtual del sitio arqueológico, como se muestra en la figura 6, y también se incorporaron modelos de llamas y reconstrucciones virtuales de los antiguos pobladores Cañaris.

Figura 6
Reconstrucción hipotética del tambo Inca de Paredones



Nota. Reconstrucciones virtuales realizadas con el programa de modelado 3D Blender.

Posteriormente se debe realizar una aplicación de RV para que las personas puedan visualizar este bien patrimonial reconstruido usando unas gafas para tal efecto. La aplicación final se desarrollará tomando como eje principal la Experiencia de Usuario (UX), que se puede definir en términos generales como el conjunto de percepciones, sensaciones y emociones que se producen como resultado de la interacción del usuario con un producto o servicio en un determinado contexto de uso (Campoverde-Durán y Garzón, 2022).

El diseño de la UX a menudo se usa indistintamente con términos como "diseño de la interfaz de usuario" y "usabilidad". Sin embargo, si bien la usabilidad y el diseño de la interfaz de usuario (UI) son aspectos importantes del diseño de UX, son componentes o subconjuntos, el diseño de UX también cubre una amplia gama de otras disciplinas (IDF, 2019).

El método propuesto para el desarrollo de dichas aplicaciones es el Diseño de Experiencia de Usuario (UXD), un proceso compuesto por tres pasos que se suceden de forma secuencial e iterativa:

- **Idear:** el primero comienza por conocer el contexto y la problemática en cuestión, así como conocer a los usuarios finales; en esta etapa del proceso se plantean los objetivos e hipótesis para la solución.
- **Crear:** el segundo se centra en el diseño de soluciones y elaboración de prototipos para su posterior experimentación; su finalidad es analizar la interacción entre usuarios y productos en el contexto de uso.
- **Evaluar:** la tercera está relacionada con la evaluación de los resultados de la experimentación; una vez analizados los datos obtenidos se repite el proceso hasta encontrar la solución óptima para los usuarios, y así obtener un modelo incremental de innovación continua.

Conclusiones

Este trabajo de investigación muestra una parte del proceso de virtualización del Qhapaq Ñan y del sitio arqueológico de Paredones de Culebrillas. Hasta el momento se han realizado dos visitas al sitio de estudio, a manera de exploración y experimentación, siendo necesario realizar otra visita con el fin de obtener un modelo tridimensional de mayor calidad. Sin embargo, cabe resaltar que con la información obtenida hasta el momento se procedió a la reconstrucción virtual usando paralelos históricos y fotos de referencia. Posteriormente se debe desarrollar la aplicación de RV y ponerla a disposición de los usuarios, posiblemente en el museo del sitio arqueológico de Ingapirca en la provincia del Cañar y en el de Pumapungo en la provincia del Azuay.

Referencias bibliográficas

Bernárdez, J., (2003). *La profesión de la gestión cultural: definiciones y retos*. Repositorio del Observatorio Latinoamericano de Gestión Cultural. https://bit.ly/3SFkMpW

Blender (2023, 15 de noviembre) Página web para descarga del software de modelado 3D https://www.blender.org/

Campoverde-Durán, R. y Garzón-Vera, B. (2022). *Mixed reality: evaluation of the user experience to improve the interpretation of the archaeological heritage.* Springer, https://doi.org/10.1007/978-981-19-6347-6_48

Enciclopedia Británica (2023, 21 de diciembre). Virtual Reality. Enciclopedia Británica (UK) https://bit.ly/4cgvpX9

García, M., (2014, 10 de noviembre). Gestión del Patrimonio Cultural. https://bit.ly/4dcqdoB

IDF. (2019, 18 de diciembre de 2023). Interaction Design Foundation. The Definition of Interaction Design. https://bit.ly/4fxqF25

Kouprie, M. y Visser, F., (2009). A framework for empathy in design: Stepping into and out of the user's life. *Journal of Engineering Design, 20*(5), 437-448. https://doi.org/10.1080/09544820902875033

López-Menchero, V., Grande, A., (2011). Hacia una Carta Internacional de Arqueología Virtual. El Borrador SEAV. *Virtual Archaeology Review, 2*(4), 71-75. https://bit.ly/3AeEOB7

Monsalve, L. (2011). Gestión del Patrimonio Cultural y Cooperación Internacional. *Cuadernos de Cooperación para el Desarrollo, 6*. Medellín, Colombia. Escuela Latinoamericana de Cooperación y Desarrollo.

Reilly, P., (1990). Towards a virtual archaeology. pp.133-139. Oxford, British *Archaeological Reports, INT Series, 565.* https://bit.ly/3SEYoNm

Rivero, P., (2011). La arqueología virtual como fuente de materiales para el aula. *Revista Íber. Didáctica de las Ciencias Sociales, Geografía e Historia. 68*, 17-24. https://bit.ly/4fzETj8

Sciencefocus, (2020, 16 de diciembre de 2023). The history of virtual reality https://bit.ly/3WzFdWp

UNESCO, (2023, 22 de diciembre). Qhapaq Ñan - Sistema vial andino. https://whc.unesco.org/es/list/1459