

Interactive Virtual Reality applications for the enhanced knowledge of Spanish Mediterranean Fortress-Castles

In the western Mediterranean area, castles and fortresses constitute a type of architectural heritage of great value. They are representative of the medieval period, generally with the superimposed work of different phases, and a later moment of abandonment and ruin. The interpretation of their characteristics requires an adequate study from different points of view. Within the dissemination strategies of cultural heritage, the objective is to promote the knowledge of a special type of architectural heritage, through an interactive virtual reality application, which enables the interpretation of historical architecture and its territorial context. This research presents Immersive Virtual Reality as a visualisation and interactive technology which introduces an innovative development in the field of Cultural Heritage. The interactive experience is depicted as a potential user centred dissemination and knowledge tool, ideal for responding to new learning

styles. The proposal communicates an application based on the WebXR standard, which allows accessibility from a maximum amount of devices. It consists of a virtual visit to the fortresses. Its main interactions are grouped into two parts; on the one hand, the free route and the pre-established routes that enable us to understand it in its entirety, identifying the points of special interest, both landscape and architectural, and on the other, all the additional information which is to be included at different stages.



Mónica Val Fiel
PhD, Architect and Bachelor of Fine Arts. Professor in the Graphic Expression Department and Technical School of Design Engineering at the Universitat Politècnica de València. Her research and teaching activities focus on defining the role of technology as a driver of urban interaction design.



Alba Soler-Estrela
PhD Architect. Professor at the Department of Industrial Systems Engineering and Design at Universitat Jaume I, teaching in the area of Architectural Graphic Expression. Her research activities focus on Architectural Heritage: survey, representation, construction history, virtual models and geometry.

Keywords:
Cultural Heritage (CH); Fortress castle; Dissemination; Virtual reality (VR); WebXR

1. INTRODUCTION AND BACKGROUND

1.1 DISSEMINATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE

Architectural heritage is a unique resource with complex values, formed by those historical buildings that have acquired the recognition of cultural heritage within a community. It enables us to know the history and the needs of a society; its way of life in a certain period, as well as its cultural or religious aspirations. But it is also a sample of technical ingenuity and the ability to use certain materials and ways of building. In a broader vision, it is necessary to consider the territorial context, the way in which the building has responded to the place where it is located, the urban environment or the landscape. All of this can be interpreted from the observation of the territory, the architecture and its details, hence its great documentary value.

From the recognition of its values, the importance of protecting and preserving architectural heritage is determined, so that it can be passed on to future generations. It is a fundamental issue, in order to avoid its deterioration or disappearance, and has given rise to investigations, research and proposals. In addition to the necessary conservation, it is a resource that must satisfy educational and cultural needs. From this point of view, the approaches of diffusion and disclosure appear, where heritage must be explained and conveyed to society.

With the intention of promoting policies for the dissemination of information and awareness (Council of Europe, 1985), the need to generate educational and information programmes to strengthen appreciation and respect for cultural heritage has been a constant concern for different organizations such as UNESCO (1972). The latest updates maintain the same objectives but suggest that the incorporation of new technologies can favour the dissemination of cultural content (ICOMOS, 2014). Within the broad possibilities of the society of information, one of its objectives should be to develop the use of digital technology to improve access to cultural heritage (Council of Europe, 2005).

1.2 VIRTUAL REALITY IN THE FIELDS OF CULTURAL HERITAGE

New technologies in the field of representation have made it possible to question the processes in which tools are considered to be solely instrumental in nature. The interactive experience is presented as a potential tool of learning and knowledge due to its inherent qualities. Virtual Reality (VR) assimilates this experiential analysis into learning and into the context of Cultural Heritage (CH). Thus, the tool overcomes its technological stimulus, and becomes an intuitive medium and a potential communication device, which enables user-adjusted learning (Puyuelo et al., 2015). The advancement of technologies in graphic rendering service has transformed the means of experimentation, and with it, the interaction of users with tools (Human-Computer Interaction - HCI) and now directs its evolution towards immersive environments (Val & Higón, 2016). Within the world of VR related technologies, Milgram and Kishino (1994) defined mixed reality as a continuous linear scheme between reality and virtuality, based on combining to a greater or lesser extent the real and physical world with the virtual world. Their combination possibilities range from Augmented Reality (AR) to Augmented Virtuality (AV). Azuma (1997) completed the definition by characterising augmented reality as the combination of virtual and real elements, interaction in real time, and information registered in 3D. While VR defines an immersive environment decontextualised from reality, AR seeks to enhance the activity of users in their field of action and overlays virtual images onto the real environment so that reality continues to be the visual environment that the viewer experiences.

In recent decades, numerous investigations have focused on the application of VR in the field of CH. Among the objectives sought with its implementation, the most prominent are: education, exhibition enhancement, exploration, reconstruction, and virtual museums (Bekele et al., 2018). Previous experiences in the

heritage context justify how the widespread use of smartphones and Wi-Fi networks makes it possible to implement AR in order to provide additional information. Anderson (2010) establishes three categories in the most widespread implemented experiences. The first being prototypes and demonstrators; the second, virtual museums, and the third, commercial historical games that simulate historical events in which users can participate.

Finally, it should also be noted that, in the current tourism context, technological applications for the promotion of heritage sites have acquired great importance in order to make destinations attractive and competitive, thereby promoting cultural tourism.

Previous antecedents of this research would be the experiences of Büyüksalih (2020) which focused on some caves in Istanbul, where the visit to a cultural landscape in a VR environment is implemented in order to preserve it. Linked to the incorporation of geographical information, experiences such as those of Lütjens (2019) are aimed at presenting the workflow of large-scale terrain information via a VR representation of an arctic fjord. Finally, the investigations by Tschirschwitz (2019) associated with the visualisation of an Ottoman fortress in Istanbul, a completely rebuilt, accessible fortress without showing any notable deterioration, are remarkable. In the three investigations, after collecting data through laser scanning and preparing the information for management in VR, the Unity/Unreal engine is used to render the models and integrate movements into the scene. Finally, for immersive viewing, an HTC Vive system is used applying Steam VR as a tool.

In the studies carried out by Bekele (2018) in the field of CH, it is found, on the one hand, that the graphic engines used and presented in the background are Unity/Unreal, and on the other, that the HMD (Head-Mounted Display) more commonly used are the HTC Vive and Oculus Rift helmets / glasses, which require a high level of performance in the equipment enabled for their management.

2. OBJECTIVE

Within the dissemination strategies of cultural heritage, the objective is to promote the knowledge of a special type of architectural heritage, through an interactive virtual reality application, which enables the interpretation of historical architecture and its territorial context.

2.1 KNOWLEDGE OF SPANISH MEDITERRANEAN CASTLE FORTRESSES

Architectural heritage is very broad, and it is therefore convenient to make distinctions according to criteria such as: type of building, historical period, and territorial context. Within this idea, a group of representative buildings has been identified: the castles and fortresses of a geographical area in the western Mediterranean. It is mountainous territory near the sea, in the Valencian Community of Spain. Architecturally they are very remarkable and as such, enjoy the highest level of legal protection.

They are emblematic buildings strategically located in mountainous areas, due to their defensive function. They are part of a cultural landscape with multiple overlaps over time [Soler-Estrela, 2018]. Their historical value is relevant within the Medieval period, originating in the Muslim period, around the 10th century, later transformed by Christian feudal lords, generally used until the 16th century.

The presented work is applied to a series of cases. Detailed knowledge of its characteristics has been obtained by direct participation in different studies and architectural projects [1] [fig. 1].

The observation and understanding of its architecture is often difficult, because of the inaccessibility of its locations, but also because of its state of neglect and poor state of conservation. They are generally invaded by vegetation and in an advanced state of ruin. Data collection is complicated, and the means used have relied on photogrammetry techniques and topographic support. A graphic documentation of floor plans, elevations and general sections has been generated [fig 2]. With great detail, they have been analysed from their current state, interpreting traces of the construction processes and the parts that are now missing [fig 3].



Fig. 1 - Landscape and architecture in different cases. From top to bottom: Forná, Perputxent, Alcalá de Gallinera, Ambra and Bairén.

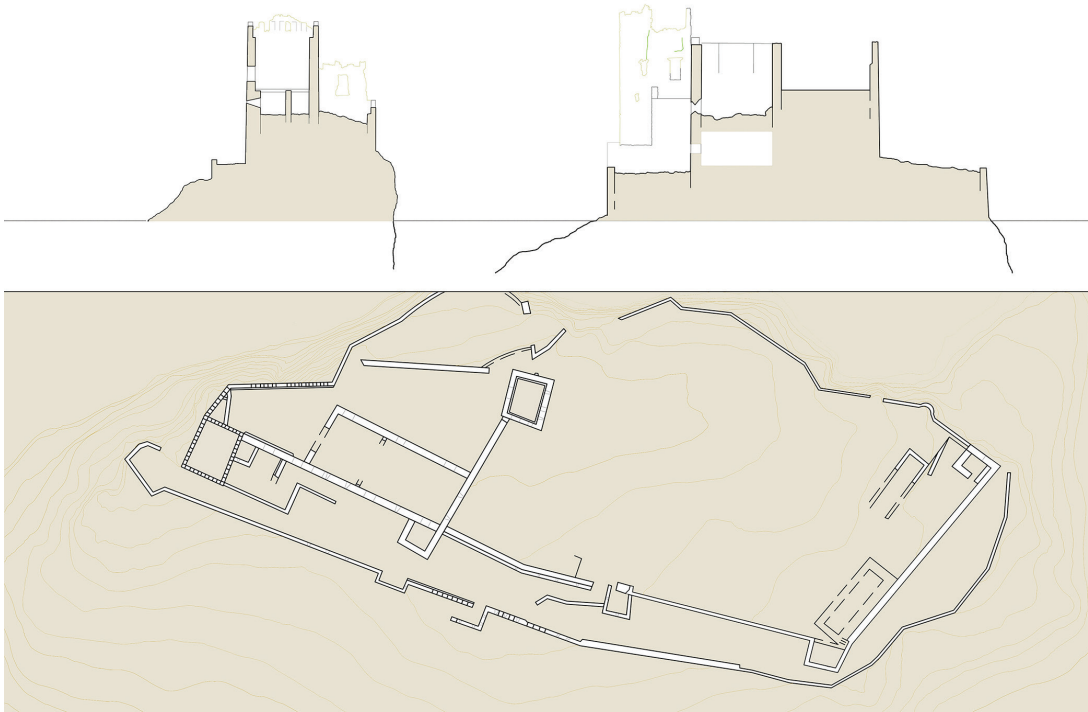


Fig. 2 - Example of general graphic documentation. Topographic plan, main sections.

Fig. 3 - Photogrammetry and process of analysis of architectural elements, construction techniques and phases.



Although with certain peculiarities associated with each case, some characteristics common to all of them can be extracted. This enables the generation of materials that help them to be understood. Therefore a reading and interpretation of the most relevant aspects, from the point of view of landscape and architecture, can be gained.

At a territorial level, its defensive role should not be overlooked. The choice of sites corresponds to places with visual dominion and with difficult access. The access routes to the enclosures, through mountain paths, are interesting in themselves. Within the castle itself, visual connections with other fortresses or with geographical landmarks have been favoured.

At an architectural level, the configuration is generally complex, occupying large walled enclosures within which different elements are arranged (rooms, towers, cisterns, homes, storage areas). Given the advanced state of ruin, the interpretation of the typology is not obvious, and an analysis is necessary to understand the use and configuration of the different spaces.

In the great walls elements such as doors, windows, loopholes, sometimes vaults can be distinguished but other elements such as slabs and roofs have disappeared in many cases and must be interpreted through their remaining traces.

Regarding construction techniques, the tapia walls are very remarkable, this is the method of constructing walls using wooden formwork, of which the joints, traces of boards, timbers, etc. can be observed. The materials used are those of the environment itself, masonry and mortar predominately, and for singular points, brick was used.

From the study of the cases, their great value for the history of architecture and construction should be highlighted, as well as their relationship with the surrounding territory and the interpretation of the cultural landscape of medieval times.

Knowledge of the topics described is necessary as a starting point for the generation of dissemination materials through VR, within a general research process, which aims to contribute to communication and dissemination; fostering interest in their conservation.

2.2 WEBXR

This research proposes a web platform that enables democratising the use of the application. For the integration of the model in an immersive VR experience, a web platform is suggested that enables accessibility from a maximum number of devices, moving away from localized VR solutions that require equipment with a high level of performance. To this aim, an application based on the WebXR standard is proposed.

WebXR is a set of protocols and standards used to support the rendering of 3D scenes for the representation of virtual scenes (VR) or for the addition of graphic elements to the real world (AR) through web environments. Through the WebXR specification it is possible to view VR experiences through a web browser (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge, Oculus browser, etc.) using HMD, both oriented to the consumer sector (Google Cardboard, Samsung Gear VR, Oculus Quest, etc.), as well as high-output (Oculus Rift, HTC Vive, etc.). This democratisation affects not only user access, but also developers, as it facilitates the deployment of VR applications through established platforms, such as SketchFab. Additionally, there are various frameworks that facilitate the creation of content in VR without the complexity of using a low-level programming language. Lastly, it should be noted that if immersive viewing is not possible viewing through a standard device monitor or display is a possibility, providing the system with an additional accessibility mode. A feature that expands the possibilities of WebVR is the support for different input devices, such as handheld VR controllers or specialised mixed reality gamepads, enabling the user to interact with the application in real time.

The standard enables the inclusion of directional sound, thus enhancing the immersive experience. The current use of WebXR technology is specified through immersive experiences, based on 3D models or 360° panoramic photographs. An example of this is 'Italy's invisible cities' (2017), an application created by the BBC and ScanLAB Projects, which is an experience that offers visitors information about various places of interest while exploring 360° images in a virtual world.

3. METHODOLOGY: DEFINITION OF PROPOSALS

The process has a first step, which corresponds to the study of the architectural heritage that is to be made known. The values and information to be transmitted must be defined. To do this, the starting point is the knowledge of five relevant castle fortresses, indicated in section 2.1. Their analysis enables the synthesis of general characteristics that can be extrapolated to other cases. The most interesting questions have been extracted from each of them to serve as an example to show different possibilities. Among its values, the relationship with the landscape and territory, and the value of architecture and historical construction techniques stand out. It is necessary to have starting material on these topics. A 3d model with texture mapping must also be available. In this type of heritage, due to the difficulty of access, it is noteworthy that data collection should be carried out using aerial photogrammetry with a drone [2].

A second step corresponds to the development of the virtual application, that must be adjusted to the uniqueness of the type of heritage and to the specific objectives. Once the type of heritage and the possibilities of VR application are known, an analysis is carried out in order to define the concrete proposal of the material and type of virtual interactions that are going to be proposed (fig. 4). The proposal is based on the approach to the fortresses and their environment in an immersive way, providing a new level of interaction with the enclave under study, and with the way in which the information is shown to the user. The topics of interest are structured in certain items in relation to the landscape (PL- Point of Landscape interest) and with the observation of architecture (PA- Point of Architectural interest). The interaction conforms to the established categories and makes it possible to learn by means of the pre-established routes and the expansion of information on each of the points of interest (fig. 5).

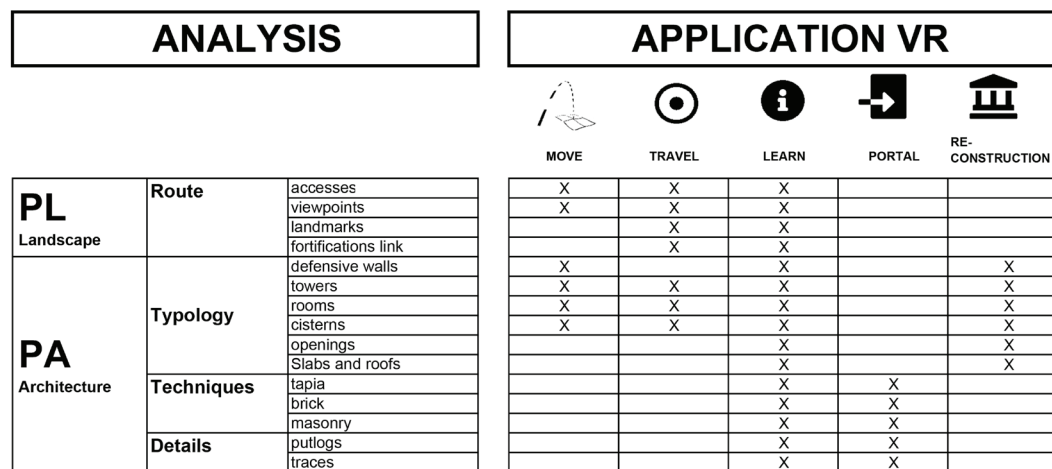
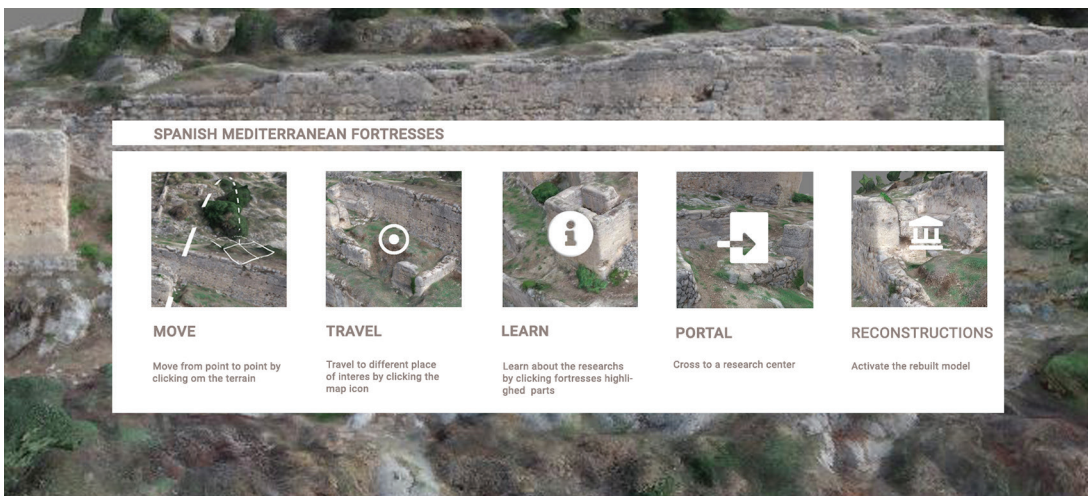


Fig. 4 - Relationship between the analyzed characteristics of interest and the proposed VR application.



Fig. 5 - Immersive visualisation. Scoreboard that displays information panels

Fig. 6 - Reference icons of the five controls for interaction with the application. Move, Travel, Learn, Portal and Reconstruction.



4. RESULTS: INFORMATIVE MODEL TO XR PROJECTS

The proposed VR application enables five interaction controls (fig. 6): move, travel, learn, portal and reconstruction. The controls enable the user to interact with the elements arranged on the scene through the selection and confirmation buttons.

In the first and second interactions, designated as Move and Travel, technology enables the visit and movement along an itinerary that makes it possible, on the one hand, to experience the whole concept, and on the other, to highlight the points of interest, both landscape (PL) and architectural (PA). The tool enables physical movement in a nearby environment within or outside the itinerary traced with Move, and navigation through the places of interest established on the route with Travel (fig. 7).

In the third interaction Learn, the application enables the expansion of information regarding both the highlighted elements (walls, towers, rooms and cisterns), as well as the construction techniques (*tapia*, vaults and slabs) and certain details of interest (traces, remains of original elements etc.). The user who walks through the space has the option of expanding the information by selecting the markers that display a layer of information superimposed in the form of a panel (image and text). This panel contains simplified information within the analysis defined in the methodology.

PL / route (fig. 8)

- Interior itinerary and selection of points of scenic interest: accesses, viewpoints
- Explanation of the strategic location and the territory: landmarks, fortifications link
- Selection of points of architectural interest

PA / typology (fig. 9)

- Identification of main elements: walls, towers, rooms, cisterns
- Identification of characteristic elements: embrasures, doors, windows. Slabs and roofs
- Due to the state of ruin, important elements have disappeared, but they can be discovered through their fragments. Sometimes virtual reconstruction is convenient.



Fig. 7 - Preset navigation. Map that is displayed by clicking on the Travel icon.

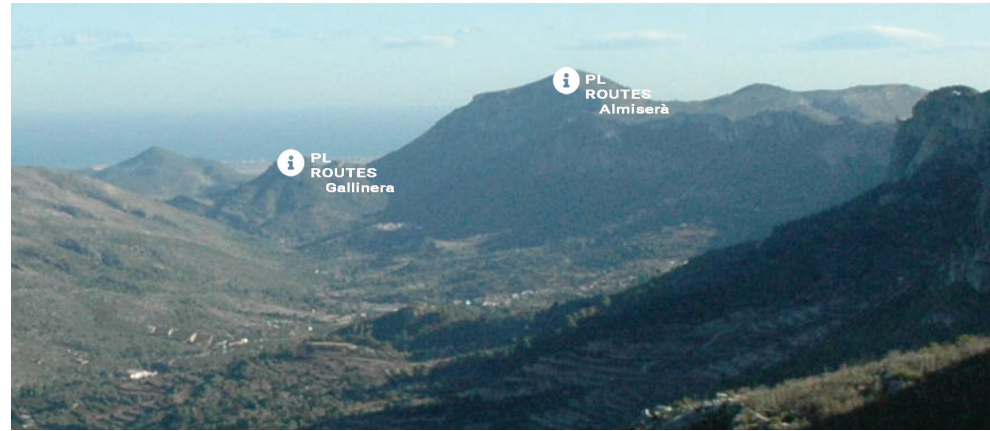
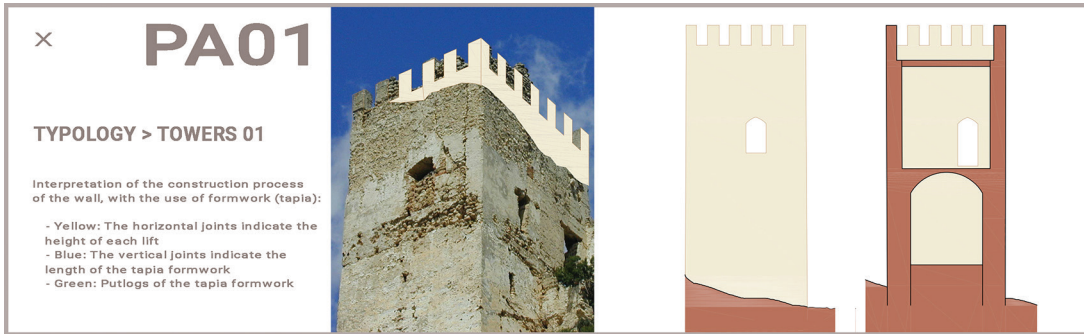


Fig. 8 - Markers of visual links with other fortifications.



PA / techniques (fig. 10)
- It highlights interest in the construction history of the *tapia* walls.
- The traces of the construction process can be interpreted, superimposing them on the real image. Formwork joints and other system footprints are indicated to the public.

PA / details (fig. 11)
- Certain areas must be enlarged to be seen in detail. This is the case with traces on walls, and sometimes with remains of original pavements, paintings, etc.

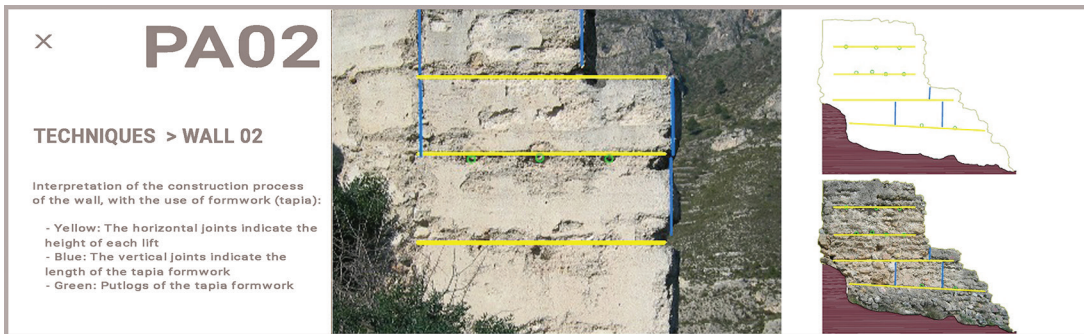


Fig. 9 - Example of an information panel on typology.

Fig. 10 - Example of an information panel on the tapia construction technique.

In the fourth interaction Portal (fig. 12) the application enables us, at certain significant points, to change the scene and access an additional level of information. From each point it is possible to enter a virtual library with access to research or interpretations on the selected element. The user interacts with a virtual desktop with access to a repository of images, technical plans, explanatory videos, etc. The user has a virtual notepad and keyboard to take notes and make drawings. The fifth interaction Reconstruction enables interpretations about the reconstruction of certain elements. At those points, where possible, the reconstructed model is superimposed on the existing reality. The possibilities are interesting, but they must be adapted to each case within their idiosyncrasies, given that sometimes their original configuration is uncertain and must be proposed as a hypothesis (fig. 13 and 14).

5. CONCLUSIONS

New technologies have broadened the panorama of possibilities in the implementation of tools for the knowledge, research and development of Cultural Heritage. This research presents Immersive Virtual Reality as a graphic visualisation and interaction technology that introduces an innovative development in this field.

Immersive environments enable experimentation as a physical but intangible spatial reality, providing a new stage of interaction with the space for enjoyment and learning, but also in terms of the way in which the information is arranged in the proposed space.

Virtual reality is established as an ideal tool to respond to new communication styles. In the context of Cultural Heritage, Virtual Reality is defined with great potential for personalisation, with user-centred learning. It is important to point out that the same application can be personalised and used for educational purposes, promoting cultural tourism, and for students and researchers in related fields such as history, architecture and archeology.

On the one hand, this medium is especially



Fig. 11 - Example of an informative panel detailing the traces of the wall construction process.

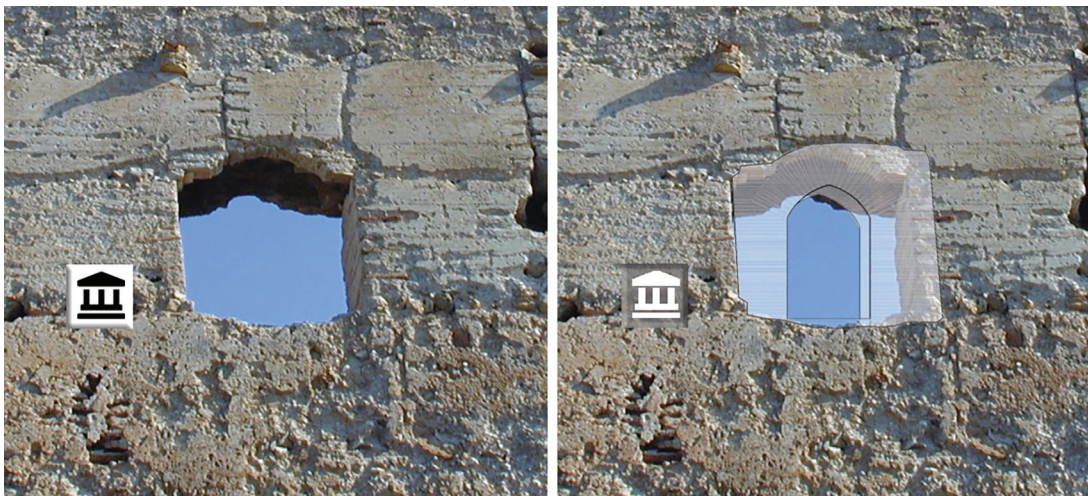


Fig. 12 - Portal. Virtual desktop accessed from specific points in order to expand information on the selected item.



Fig. 13 - The image shows the immersive visualisation within the application. The image to the left shows the Reconstruction icon at a certain point along the trail. In the image on the right, the reconstruction hypothesis is shown.

Fig. 14 - The image shows the immersive visualisation within the application. The image to the left shows the Reconstruction icon at a certain point along the trail. In the image on the right, the reconstruction hypothesis is shown. Example of reconstruction of a missing window.



relevant when physical access is restricted or in an enclave that it is difficult to access, as is the case. The application makes it possible to incorporate additional information in the journey itself (interpretation and relevant information) as a result of an in-depth investigation of each fortress. The technology enables, by superimposing a 3d model, the possibility of a reconstruction of those elements, or previous historical phases.

On the other hand, the implementation of the application in a web environment removes the barriers of technological complexity and the cost of high-performance devices, facilitating access to any user from anywhere and through a wide range of consumer devices.

Among the problems that arise in its development we can refer to the fact that the implementation of the controls for the different devices, in practice, is not immediate and requires successive adjustments and tests for proper operation. In addition, in the development of the VR application, since it is a model of a certain extension, difficulties may appear in the performance of the application, forcing to optimize the model until it reaches a balance between its definition and the graphic processing load.

For the development of virtual reality applications in cases of architectural heritage, prior knowledge is necessary, as well as some dissemination objectives. It highlights the complexity and need for specialised studies of an interdisciplinary nature, which include; an understanding of the perspective of the specific territory, architecture, construction and history.

Within the broad values of the architectural heritage, a proposal has been presented from the point of view of architecture and landscape. The work developed opens up new lines of research. In a complementary way, other historical themes could be developed focusing on characters and events related to each castle or fortress.

The proposal has been made from some specific cases, but it proposes a general methodology. Given the large number of existing fortresses and their historical and architectural importance, their application could be extended to a wide number of places.

NOTE

[1] For each case it is indicated: "Name of the castle, Municipality, Year of study or Project": Forna, L'Atzúvia, 2001-2014; Perputxent, L'Orxa, 2006; Alcalá, Vall de Gallinera, 2009; Ambra, Pego, 2018; Bairen, Gandia, 2019. The figures are examples taken from the different cases (Forna: Fig 14; Perputxent: Fig 2, 3, 9, 10; Alcalá: Fig 8; Ambra: Fig 5, 6, 7, 13; Bairen: Fig 11).

[2] The 3D model with photorealistic texture has been made by I. Segura Martínez, within the Master Plan for the social recovery of Ambra Castle, 2019. coord. P. J. Pons Cambrils.

REFERENCES

Anderson, E. F., McLoughlin, L., Liarokapis, F., Peters, C., Petridis, P., & De Freitas, S. (2010). Developing serious games for cultural heritage: a state-of-the-art review. *Virtual reality*, 14(4), 255-275.

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, 6(4), 355-385.

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 (JOCCH)*, 11(2), 1-36.

Büyüksalih, G., Kan, T., Özkan, G. E., Meriç, M., Isın, L., & Kersten, T. P. (2020). Preserving the knowledge of the past through virtual visits: from 3D laser scanning to virtual reality visualisation at the Istanbul Çatalca İnceğiz Caves. *PFG—Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(2), 133-146.

Council of Europe. (2005). *Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society*, Faro. Retrieved June 29, 2021, from https://icomos.es/wp-content/uploads/2020/01/CETS_199.docx.pdf

Council of Europe. (1985). *Convention for the Protection of the*

Architectural Heritage of Europe. Retrieved June 29, 2021, from <https://rm.coe.int/168007a087>

ICOMOS. (2014). *The Florence Declaration on Heritage and Landscape as Human Values*, Florence. Retrieved June 29, 2021, from https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Secretariat/2015/GA_2014_results/GA2014_Symposium_FlorenceDeclaration_EN_final_20150318.pdf

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.

Lütjens, M., Kersten, T. P., Dorschel, B., & Tschirschwitz, F. (2019). Virtual reality in cartography: Immersive 3D visualization of the Arctic Clyde Inlet (Canada) using digital elevation models and bathymetric data. *Multimodal Technologies and Interaction*, 3(1), 9.

Puyuelo, M., Val Fiel, M., Higón, J. L., & Merino, L. (2015). De la representación a la experiencia. Realidad Aumentada para la interpretación del patrimonio monumental de la Lonja de Valencia. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 20(26), 180-189.

Scanlabprojects. (2017). *Italy's invisible cities*. Retrieved August 17, 2021, from <https://scanlabprojects.co.uk/work/italys-invisible-cities/>

Soler-Estrela, A. S., Verdú, R. S., & Pérez, J. O. (2012). Restoration of the stone tapia of hsin al-Qala (Castell d'Alcalà de Gallinera), Alicante, Spain. *Rammed Earth Conservation*, 413.

Soler-Estrela, A. (2018). Cultural Landscape Assessment: The Rural Architectural Heritage (13th–17th Centuries) in Mediterranean Valleys of Marina Alta, Spain. *Buildings*, 8(10), 140

Tschirschwitz, F., Büyüksalih, G., Kersten, T. P., Kan, T., Enc, G., & Baskaraca, P. (2019). Virtualising an Ottoman fortress—laser scanning and 3D modelling for the development of an interactive, immersive virtual reality application. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.

UNESCO. (1972). *Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*, Paris. Retrieved June 29, 2021, from <https://whc.unesco.org/archive/convention-en.pdf> (accessed on 29 June 2021).

Val-Fiel, M., & Higón Calvet, J. L. (2016). Interactive Experience in Virtual Environments as a Project Tool. In *Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica* (pp. 1021-1031). Springer, Cham.

Aplicaciones de Realidad Virtual Interactiva para potenciar el conocimiento de los Castillos-Fortaleza del Mediterráneo Español

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1 DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

El patrimonio arquitectónico es un recurso único y de valores complejos, formado por aquellos edificios históricos que han adquirido el reconocimiento de herencia cultural propia dentro de una comunidad. Nos permite conocer la historia, las necesidades de una sociedad, su forma de vida en un determinado periodo, así como las aspiraciones culturales o religiosas. Pero también es una muestra del ingenio técnico y de la capacidad de utilización de ciertos materiales y formas de construir. En una visión más amplia, hay que considerar su contexto territorial, la forma en que ha dado respuesta al lugar en que se implanta, al entorno urbano o al paisaje. Todo esto puede ser interpretado a partir de la observación del territorio, de la arquitectura y sus detalles, de ahí su gran valor documental.

A partir del reconocimiento de sus valores se determina la importancia de protegerlo y conservarlo, para que pueda transmitirse a las futuras generaciones. Es una cuestión fundamental, para evitar su deterioro o desaparición, y que ha dado lugar a investigaciones y propuestas. Además de la necesaria conservación, es un recurso que debe satisfacer necesidades educativas y culturales. Desde este punto de vista aparecen los planteamientos de difusión y divulgación, donde el patrimonio debe ser explicado y transmitido a la sociedad. Con la intención de promover las políticas de difusión de información y sensibilización (Council of Europe, 1985), la necesidad de generar programas educativos y de información, para fortalecer el aprecio y el respeto del patrimonio cultural, ha sido una preocupación constante para distintos organismos como UNESCO (1972). Las últimas actualizaciones mantienen los mismos objetivos, pero plantean que la incorporación de las nue-

vas tecnologías pueden favorecer la difusión de los contenidos culturales (ICOMOS, 2014). Dentro de las amplias posibilidades de la sociedad de la información, uno de sus objetivos debe ser el de desarrollar el uso de la tecnología digital para mejorar el acceso al patrimonio cultural (Council of Europe, 2005).

Quedando de manifiesto el interés de la difusión, hay que tener en cuenta que la generación de materiales adecuados deben partir del conocimiento específico del caso de patrimonio, de sus características y valores destacables. La interpretación del patrimonio arquitectónico entraña por lo general una gran complejidad. En su estado actual, está alterado por el paso del tiempo, intervenciones de distintas épocas, desaparición de partes, a veces la ruina. Es necesario conocerlo para poder explicarlo, mediante un proceso de análisis y síntesis que haga posible la comprensión de sus características y valores originales.

1.2 REALIDAD VIRTUAL EN LOS ÁMBITOS DEL PATRIMONIO CULTURAL

Las nuevas tecnologías en el ámbito de la representación han permitido cuestionar los procesos en los que las herramientas son consideradas con un carácter únicamente instrumental. La experiencia interactiva se presenta como una herramienta potencial de aprendizaje y conocimiento por sus cualidades inherentes. La Realidad Virtual (RV) incorpora esta experimentación vivencial al aprendizaje y en el contexto del Patrimonio Cultural (PC). Así, la herramienta supera su estímulo tecnológico, y se convierte en un medio intuitivo y una potencial herramienta de comunicación, que hace posible un aprendizaje ajustado al usuario (Puyuelo et al., 2015). El avance de las tecnologías al servicio de la representación gráfica ha transformado los medios de experimentación, y con ello, la interacción de los usuarios con las herramientas (*Human-Computer Interaction* - HCI) y dirige su evolución hacia los entornos inmersivos (Val & Higón, 2016).

En el conjunto de tecnologías vinculadas a la RV, Milgram y Kishino (1994) definieron la realidad mixta como un esquema lineal continuo entre la realidad y la virtualidad basado en combinar en mayor o menor medida el mundo real y físico con el mundo virtual. Sus posibilidades de combinación se extienden desde la *Realidad Aumentada* (RA) hasta la *Virtualidad Aumentada* (VA). Azuma (1997) completó la definición caracterizando a la realidad aumentada como la combinación de elementos virtuales y reales, la interacción en tiempo real y la información almacenada en 3D. Mientras que la RV define un entorno inmersivo descontextualizado de la realidad, la RA busca potenciar la actividad de los usuarios en su ámbito de actuación y superpone imágenes virtuales al entorno real de manera que la realidad sigue siendo el entorno visual que el espectador recorre.

En las últimas décadas, numerosas investigaciones se han centrado en la aplicación de la RV al ámbito del PC. Dentro de los objetivos que se buscan con su implementación se encuentran como los más destacados: la educación, la mejora de las exposiciones, la exploración, la reconstruc-

ción y los museos virtuales (Bekele et al, 2018). Experiencias previas en el contexto patrimonial justifican cómo el uso extendido de los teléfonos inteligentes y redes wifi hacen posible la implementación de la RA con el fin de proporcionar información adicional. Anderson (2010) establece tres categorías en las experiencias implementadas más extendidas. La primera, prototipos y versiones demostrativas; la segunda, museos virtuales, y la tercera, juegos históricos comerciales que simulan eventos históricos en los que los usuarios pueden participar.

Finalmente hay que destacar también que, en el actual contexto turístico, las aplicaciones tecnológicas para la promoción de los enclaves patrimoniales han adquirido una gran importancia con el objeto de hacer que los destinos sean atractivos y competitivos, potenciando con ello un turismo cultural.

Antecedentes previos de esta investigación serían las experiencias de Büyüksalih (2020) centradas en unas cuevas de Estambul, donde se implementa la visita a un paisaje cultural en un entorno de RV con el fin de su preservación. Vinculadas a la incorporación de información geográfica, experiencias como las de Lütjens (2019) se dirigen a presentar el flujo de trabajo de información del terreno a gran escala en una representación de RV de un fiordo del ártico. Finalmente se destacan las investigaciones de Tschirschwitz (2019) asociadas a la visualización de una fortaleza otomana en Estambul, una fortaleza totalmente reconstruida, accesible y sin evidenciar un deterioro destacable. En las tres investigaciones, tras la recogida de datos mediante el escaneado láser y la preparación de la información para su gestión en RV, se utiliza el motor de *Unity/Unreal* para el renderizado de los modelos y la integración de los movimientos en la escena. Finalmente, para la visualización inmersiva, se utiliza un sistema *HTC Vive* usando *Steam VR* como herramienta.

En los estudios realizados por Bekele (2018) en el campo del PC se constata, por una parte, que los motores gráficos utilizados y presentados en los antecedentes son *Unity/Unreal*, y por otra, que los HMD (*Head-Mounted Display*) más comúnmente

utilizados son cascos/gafas *HTC Vive* y *Oculus Rift*, lo que obliga a un alto nivel de prestaciones en los equipos habilitados para su gestión.

2. OBJETIVO

Dentro de las estrategias de difusión del patrimonio cultural, el objetivo es promover el conocimiento de un tipo especial de patrimonio arquitectónico, a través de una aplicación interactiva de realidad virtual, que permita la interpretación de la arquitectura histórica y su contexto territorial.

2.1 CONOCIMIENTO DE LOS CASTILLOS FORTALEZA MEDITERRÁNEOS

El patrimonio arquitectónico es muy amplio, y conviene distinguir según criterios como: tipo de edificio, época histórica, contexto territorial. Dentro de esta idea se ha identificado un grupo de edificios representativos: los castillos y fortalezas de un área geográfica del mediterráneo occidental. Es un territorio de montaña próximo al mar, situado en la Comunidad Valenciana, España. Arquitectónicamente son muy destacables y gozan del mayor nivel de protección legal.

Son edificios emblemáticos situados estratégicamente en zonas de montaña, debido a su función defensiva. Forman parte de un paisaje cultural con múltiples superposiciones a lo largo del tiempo (Soler-Estrela, 2018). Su valor histórico es relevante, dentro de la época medieval, con origen en época musulmana, en torno al siglo X, posteriormente transformados por señores feudales cristianos, utilizados generalmente hasta siglo XVI.

El trabajo que se presenta está aplicado a una serie de casos. El conocimiento detallado de sus características se ha obtenido por la participación directa en distintos estudios y proyectos arquitectónicos (fig. 1).

La observación y comprensión de su arquitectura suele ser complicada, por lo inaccesible de sus emplazamientos, pero también por su abandono y mal estado de conservación. Por lo general están invadidos por la vegetación y en estado avanzado de ruina. La toma de datos es complicada, y los

medios utilizados han contado con técnicas de fotogrametría y apoyo topográfico. Se ha generado una documentación gráfica de: planos de planta, alzados y secciones generales (fig. 2). A nivel de detalle, se han analizado a partir del estado actual, interpretando las huellas de los procesos constructivos y de las partes desaparecidas (fig. 3).

Aunque con ciertas particularidades asociadas a cada caso, se pueden extraer unas características comunes a todos ellos. Esto permite la generación de materiales que ayuden a su comprensión. Se pretende favorecer una lectura e interpretación de los aspectos más relevantes, desde el punto de vista del paisaje y la arquitectura.

A nivel territorial, no debe perderse de vista la misión defensiva. La elección de los emplazamientos corresponde a lugares con dominio visual y de difícil acceso. Tiene un interés en sí mismo el modo de acceso a los recintos, que se producen por sendas de montaña. Dentro del propio castillo se ha buscado favorecer las conexiones visuales con otras fortalezas o con hitos geográficos.

A nivel arquitectónico, por lo general la configuración es compleja, ocupando amplios recintos amurallados dentro de los cuales se disponen distintos elementos (salas, torres, aljibes, viviendas, zonas de almacenamiento...). Dado el avanzado estado de ruina, la interpretación de la tipología no es evidente, y es necesario el análisis para entender el uso y configuración de los distintos espacios.

En los grandes muros pueden observarse puertas, ventanas, aspilleras, a veces bóvedas... pero otros elementos como forjados y cubiertas en muchos casos han desaparecido y deben interpretarse a través de sus huellas.

En cuanto a las técnicas constructivas es muy destacable la tapia, el modo de construcción de muros mediante encofrados de madera, de los que pueden observarse las juntas, huellas de tableros, agujas, etc. Los materiales utilizados son los del propio entorno, predominan mampuestos y argamasa, para puntos singulares se utilizaba el ladrillo.

Del estudio de los casos debe destacarse su gran valor para la historia de la arquitectura y la cons-

trucción, así como la relación con el territorio y la interpretación del paisaje cultural de época medieval. El conocimiento de los temas descritos es necesario como punto de partida para la generación de materiales de difusión mediante RV, dentro de un proceso general de investigación, que tiene como objetivo contribuir a la divulgación y difusión, fomentando el interés por su conservación.

2.2 WEBXR

La presente investigación propone una plataforma web que permita democratizar el uso de la aplicación. Para la integración del modelo en una experiencia inmersiva RV, se propone una plataforma web que permita la accesibilidad desde el mayor número de dispositivos, alejándose de soluciones de RV localizadas que requieran equipos con un alto nivel de prestaciones. Con este fin, se plantea una aplicación basada en el estándar WebXR.

WebXR es un conjunto de protocolos y estándares utilizados para soportar el renderizado de escenas 3D para la representación de escenas virtuales (RV) o para la adición de elementos gráficos al mundo real (RA) a través de entornos web. Mediante la especificación WebXR es posible visualizar experiencias RV a través de un navegador web (*Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge, Oculus browser, etc.*) utilizando HMD, tanto orientados al sector de consumo (*Google Cardboard, Samsung Gear VR, Oculus Quest, ...*), como de altas prestaciones (*Oculus Rift, HTC Vive, etc.*). Esta democratización no solo afecta al acceso de los usuarios, sino también a los desarrolladores, ya que facilita el despliegue de aplicaciones RV a través de plataformas ya establecidas, como SketchFab. Adicionalmente, existen diversos frameworks que facilitan la creación de contenidos en RV sin la complejidad de utilizar un lenguaje de programación de bajo nivel. En último lugar, cabe destacar que, si la visualización inmersiva no es posible, siempre se puede visualizar a través de un monitor o pantalla de dispositivo estándar, lo que proporciona al sistema un modo de accesibilidad adicional. Una característica que amplía las posibilidades de WebXR es el soporte para diferentes dispositivos de entrada, como controladores RV de mano o *ga-*

mepads especializados de realidad mixta, lo que permite al usuario interactuar con la aplicación en tiempo real.

El estándar permite la inclusión de sonido direccional, de modo que se refuerza la experiencia inmersiva. El uso actual de la tecnología WebXR se concreta a través de experiencias inmersivas, basadas en modelos 3D o bien en fotografías panorámicas 360°, ejemplo de ello es *'Italy's invisible cities'* (2017), aplicación creada por la BBC y ScanLAB Projects, que es una experiencia que ofrece a los visitantes información sobre diversos lugares de interés mientras exploran imágenes 360° en un mundo virtual.

3. METODOLOGÍA: DEFINICIÓN DE PROPUESTAS

El proceso tiene un primer paso, que corresponde al estudio del patrimonio arquitectónico que se quiere dar a conocer. Deben definirse los valores e información que se quiere transmitir. Para ello, se ha partido del conocimiento de cinco fortalezas relevantes, indicadas en el apartado 2.1. Su análisis permite sintetizar las características generales extrapolables a otros casos. De cada uno de ellos se han extraído las cuestiones más interesantes que sirvan de ejemplo para mostrar las distintas posibilidades. Entre sus valores destaca la relación con el paisaje y el territorio, y el valor de la arquitectura y técnicas constructivas históricas. Es necesario disponer un material de partida sobre estos temas. También debe disponerse de un modelo 3d con mapeo de texturas. En este tipo de patrimonio, por la dificultad de acceso, es destacable que la toma de datos conviene realizarla mediante fotogrametría aérea con dron [2].

Un segundo paso corresponde al desarrollo de la aplicación virtual, dentro de las múltiples posibilidades deben ajustarse a la singularidad del tipo de patrimonio y a los objetivos concretos. Una vez conocido el tipo de patrimonio, y las posibilidades de aplicación RV se realiza un análisis para definir la propuesta concreta del material y tipo de interacciones virtuales que se van a proponer (fig. 4). La propuesta está basada en la aproximación a las

fortalezas y su entorno de forma inmersiva, proporcionando un nuevo nivel de interacción con el enclave en estudio, y con la forma en que la información se muestra al usuario.

Los temas de interés se estructuran en ciertos items en relación con el paisaje (PL – Punto de interés paisajístico) y con la observación de la arquitectura (PA – Punto de interés arquitectónico). La interacción se ajusta a las categorías establecidas y hace posible el aprendizaje mediante los recorridos preestablecidos y la ampliación de información sobre cada uno de los puntos de interés (fig. 5).

4. RESULTADOS: MODELO INFORMATIVO PARA PROYECTOS XR

La aplicación de RV propuesta permite cinco controles de interacción (fig. 6): *move*, *travel*, *learn*, *portal* y *reconstruction*. Los mandos permiten al usuario interactuar con los elementos dispuestos en el escenario a través de los botones de selección y confirmación.

En la primera y segunda interacción, designadas como *Move* y *Travel*, la tecnología permite la visita y el desplazamiento por un itinerario que hace posible por una parte conocer el conjunto, y por otra destacar los puntos de interés, tanto paisajísticos (PL) como arquitectónicos (PA).

La herramienta permite el movimiento físico en un entorno próximo dentro o fuera del itinerario trazado con *Move* y la navegación por los lugares de interés establecidos en el recorrido con *Travel* (fig. 7). En la tercera interacción, *Learn* la aplicación permite ampliar la información relativa tanto a los elementos destacados (murallas, torres, salas y aljibes), como a las técnicas de construcción (tapias, bóvedas y forjados) y a determinados detalles de interés (improntas, restos de elementos originales). El usuario que recorre el espacio tiene la opción de ampliar la información seleccionando los marcadores que despliegan una capa de información superpuesta en forma de panel (imagen y texto) con información simplificada dentro del análisis definido en la metodología.

PL/*itinerario* (fig. 8)

- Itinerario interior y selección de puntos de interés paisajístico: accesos, miradores
- Explicación del emplazamiento estratégico y el territorio: hitos, enlace fortificaciones
- Selección de puntos de interés arquitectónico

PA/*tipología* (fig. 9)

- Identificación de elementos principales: murallas, torres, salas, aljibes
- Identificación de elementos característicos: aspilleras, puertas, ventanas. Forjados y cubiertas.
- Debido al estado de ruina elementos importantes han desaparecido, pero pueden conocerse a través de sus huellas. En ocasiones es oportuna la reconstrucción virtual.

PA/*técnicas* (fig. 10)

- Destaca el interés para la historia de la construcción de los muros de tapia.
- Las huellas del proceso constructivo pueden ser interpretadas, superponiéndolas a la imagen real. Se indican al público las juntas de encofrados y otras huellas del sistema.

PA/*detalles* (fig. 11)

- Ciertas zonas deben ampliarse para observarse en detalle. Es el caso de huellas sobre muros, en ocasiones restos de pavimentos originales, pinturas, etc.

En la cuarta interacción, *Portal* (fig. 12) la aplicación permite en determinados puntos significativos cambiar de escena y acceder a un nivel adicional de información. Se entra desde cada punto a una biblioteca virtual con acceso a investigaciones o interpretaciones sobre el elemento seleccionado. El usuario interactúa con un escritorio virtual con acceso a repositorio de imágenes, planos técnicos, videos explicativos, etc. El usuario dispone de un bloc de notas virtual y teclado para tomar notas y dibujos.

La quinta interacción, *Reconstruction* permite interpretaciones acerca de la reconstrucción de determinados elementos. En aquellos puntos donde sea posible, el modelo reconstruido se superpone a la realidad existente. Las posibilidades son interesantes, pero deben adaptarse a cada caso dentro de sus particularidades, ya que en ocasiones

no se tiene la certeza de su configuración original y debe proponerse a modo de hipótesis (fig. 13 y 14).

5. CONCLUSIONES

Las nuevas tecnologías han ampliado el panorama de posibilidades en la implementación de herramientas para el conocimiento, investigación y desarrollo del Patrimonio Cultural. Esta investigación presenta la Realidad Virtual Inmersiva como una tecnología gráfica de visualización e interacción que introduce un desarrollo innovador en este campo. Los entornos inmersivos permiten la experimentación como una realidad espacial física pero intangible, proporcionando un nuevo estadio de interacción con el espacio de disfrute y aprendizaje, pero también con la forma en que las informaciones se disponen en el espacio propuesto. La realidad virtual se instaaura como una herramienta idónea para dar respuesta a los nuevos estilos de aprendizaje. En el contexto del Patrimonio Cultural la Realidad Virtual se define con un gran potencial de personalización, con un aprendizaje centrado en el usuario. Es importante destacar que una misma aplicación puede ser personalizada y utilizada con fines educativos, potenciando el turismo cultural y para estudiantes e investigadores de campos afines como historia, arquitectura y arqueología.

Por una parte, este medio es especialmente relevante cuando el acceso físico está restringido o es enclave es de difícil acceso, como es el caso. La aplicación hace posible incorporar información adicional en el propio recorrido (interpretación e información relevante) consecuencia de una investigación en profundidad de cada fortaleza. La tecnología permite mediante la superposición de un modelo 3d reconstruir, donde sea posible, aquellos elementos o fases históricas previas. Por otra parte, la implementación de la aplicación en un entorno web elimina las barreras de complejidad tecnológica y de coste de dispositivos de altas prestaciones, facilitando el acceso a cualquier usuario desde cualquier lugar y a través de una amplia gama de dispositivos de consumo.

Entre los problemas que se plantean en su desarrollo podemos hacer referencia a que la implementación de los controles para los diferentes dispositivos, en la práctica, no resulta inmediata y requiere de sucesivos ajustes y pruebas para un correcto funcionamiento. Además, en el desarrollo de la aplicación de Realidad Virtual, al tratarse de un modelo de cierta extensión, pueden aparecer dificultades en el rendimiento de la aplicación, obligado a optimizar el modelo hasta encontrar un equilibrio entre su definición, la carga de datos y procesamiento gráfico que genera.

Para el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual a casos del patrimonio arquitectónico es necesario su conocimiento previo, así como unos objetivos de divulgación. Destaca la complejidad y la necesidad de estudios especializados de carácter interdisciplinar, que incluyan la perspectiva del territorio, la arquitectura, la construcción y la historia.

Dentro de los amplios valores del patrimonio arquitectónico, se ha presentado una propuesta desde el punto de vista de la arquitectura y el paisaje. El trabajo desarrollado abre nuevas líneas de investigación. De manera complementaria podrían desarrollarse otros temas históricos centrados en personajes y acontecimientos relacionados con cada castillo o fortaleza.

La propuesta se ha realizado a partir de unos casos concretos, pero plantea una metodología general. Dado el gran número de fortalezas existentes y su importancia histórica y arquitectónica su aplicación podría extenderse a un amplio número de lugares.

NOTE

[1] Para cada caso se indica: "Nombre del castillo, Municipio, Año de realización del estudio o proyecto": Forná, L'Atzúvia, 2001-2014; Perputxent, L'Orxa, 2006; Alcalá, Vall de Gallinera, 2009; Ambra, Pego, 2018; Bairen, Gandia, 2019. Las figuras son ejemplos extraídos de los distintos casos (Forná: Fig 14; Perputxent: Fig 2, 3, 9, 10; Alcalá: Fig 8; Ambra: Fig 5, 6, 7,13; Bairen: Fig 11).

[2] El modelo 3D con textura fotorealística ha sido realizado por I. Segura Martínez, dentro del Plan Director para la recuperación social del Castillo de Ambra, 2019. coord. P. J. Pons Cambrils.