

# Recreación en 3D para la Difusión del Patrimonio

La Evolución Urbanística de Puente la Reina-Gares



**Pablo Serrano Basterra**

Universidad de Burgos, España

[pabloserranobasterra@hotmail.es](mailto:pabloserranobasterra@hotmail.es)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9680-0015>



**Javier Armendáriz Martija**

Universidad Pública de Navarra, España

[javier.armendarizm@unavarra.es](mailto:javier.armendarizm@unavarra.es)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9479-9009>

## Resumen

La histórica localidad de Puente La Reina-Gares (Navarra, España) es un importante polo de atracción turística por su Patrimonio histórico y monumental y su dinamismo cultural y religioso, incrementados desde sus orígenes por su estratégica ubicación en el Camino de Santiago. Junto a otros atractivos (naturales, deportivos, de aventura), constituye una potencial fuente de riqueza sobre la que, no obstante, es conveniente intervenir para ofrecer al visitante una experiencia satisfactoria. A este objetivo se dirigió la iniciativa municipal para crear y difundir un material interpretativo en formato audiovisual que facilitase la inteligibilidad desde una perspectiva histórica de los edificios, estructuras y espacios conservados y recuperados. Este artículo describe el proceso de realización de dicho material de recreación mediante técnicas de diseño 3D que pretende ser claro, atractivo y ameno, pero también ofrecer el máximo nivel de autenticidad y rigor histórico, siguiendo los principios de la incipiente disciplina de la Arqueología Virtual.

### Palabras Clave:

Turismo cultural;  
Edad Media; urbanismo; Arqueología Virtual; Diseño 3D.

## Resumo

A histórica cidade de Puente La Reina-Gares (Navarra, Espanha) é uma importante atração turística devido a seu patrimônio histórico e monumental e seu dinamismo cultural e religioso, valorizado desde suas origens por sua localização estratégica no Caminho de Santiago de Compostela. Junto com outros atrativos (naturais, esportivos, de aventura), constitui uma fonte potencial de riqueza que, no entanto, é aconselhável intervir a fim de oferecer ao visitante uma experiência satisfatória. Este é o objetivo da iniciativa municipal de criar e divulgar material interpretativo em formato audiovisual para facilitar a inteligibilidade a partir de uma perspectiva histórica dos edifícios, estruturas e espaços que foram conservados e recuperados. Este artigo descreve o processo de criação de tal material de recreação usando técnicas de design 3D que visa ser claro, atraente e divertido, mas também oferecer o mais alto nível de autenticidade e rigor histórico, seguindo os princípios da incipiente disciplina da Arqueologia Virtual.

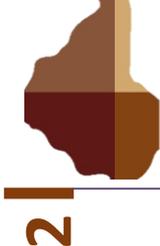
### Palavras-chave:

Turismo cultural;  
Idade Média; urbanismo; Arqueologia Virtual; Design 3D.

## 1. Introducción histórica

El presente artículo tiene como objeto la descripción de la acción de difusión realizada en 2018 para la promoción turística de la villa mediante la producción de un breve documental explicativo de su evolución urbanística destinado a hacer más inteligible ese aspecto mediante su exhibición en la oficina de turismo. El respeto a los principios de la Arqueología Virtual en





general, y al rigor científico en particular, guiaron el proceso de documentación, planificación, creación de los modelos tridimensionales, renderizado de los planos, redacción de los textos interpretativos y montaje, que describimos a continuación.

La villa de Puente la Reina, en Navarra (España), es un ejemplo clásico y ampliamente estudiado de las nuevas villas medievales nacidas a partir del Siglo XI en el tercio norte peninsular, una vez que los reinos cristianos se fueron expandiendo por el Sur tras la recuperación del territorio ocupado hasta entonces por poblaciones musulmanas (Carrasco 1993 y Passini 1985 y 1993). La nueva ordenación territorial configurada por estos nuevos núcleos de población y el contexto político de esa centuria protagonizada por la unión de los reinos de Nájera-Pamplona permitió abrir una nueva vía de comunicación estructurante entre los valles del Ebro y el Duero uniendo las poblaciones de Pamplona, Puente la Reina, Estella y Viana (Navarra) y Logroño, Navarrete, Nájera y Santo Domingo de la Calzada (La Rioja). Para ello, en el río Arga fue necesario construir un armonioso puente de siete arcos para cruzar con facilidad de orilla a orilla su caudalosa corriente (Armendáriz 2002). Este puente que va a ser el germen de la nueva villa epónima aparece por primera vez citado en la documentación el año 1085 como Ponte de Arga, si bien su análisis arqueológico, constructivo y estilístico permite situar su erección algo antes, a mediados del siglo XI, quizás en tiempos de Sancho el Mayor, García Sánchez III el de Nájera o Sancho Garcés IV el de Peñalén.

Hasta la construcción de este puente el tránsito entre una orilla y otra se debía realizar a unos 400 m aguas abajo, por el sitio donde estuvo la iglesia de San Salvador, no lejos de una pequeña aldea de nombre Murugarren que estuvo en lo alto de un pequeño cerro sobre el río Robo que ya estuvo habitado desde la Edad del Hierro. Sin embargo, la construcción del puente y consiguientemente la generación de una nueva ruta por el otro lado del río Robo muy pronto atrajo a gentes venidas allende los Pirineos para hacer negocio, pues sabemos que ya en 1090 había población franca asentada junto al puente del Arga (Uranga 1984), sin duda atraídos por el interés económico generado por el nuevo camino, convertido desde entonces en la nueva vía de peregrinación religiosa de Santiago de Compostela dejando en declive el camino del Norte. Este nuevo núcleo de población espontánea surgido junto al puente con el paso del tiempo fue a más por su importancia estratégica en el comercio y la asistencia al peregrino, lo que en junio de 1022 animó al rey aragonés Alfonso I el Batallador a conceder a los pobladores de Puente la Reina (Ponte Regina) el Fuero de Estella, una vez que hacía un año su fiel vasallo Monetario ya había traído a pobladores de fuera concediéndoles privilegios y ordenamientos jurídicos ventajosos a quienes se asentasen (Díaz y Díez 1977 e Idoate 1959). En la carta fundacional del Batallador se dispuso la creación de una “villa espaciosa bien trazada desde el puente hasta el prado de Obanos, junto a la antigua aldea de Murugarren”, que entonces comenzó su declive. El trazado ortogonal y ordenado parcelario de la extensión destinada a esta fundación se articuló con una calle central principal (la rúa o calle Mayor) y dos laterales paralelas (La Población y Cerco Nuevo), conectadas transversalmente por callejas denominadas belenas. Muy pronto esta nueva villa, como casi todas, se fue fortificando -también el puente- con robustas murallas, torres y fosos perimetrales. Con el tiempo en los arrabales de este núcleo poblacional, se formaron dos barrios extramurales de carácter suburbano, con función asistencial y religiosa. En el extremo oriental la vieja aldea de Murugarren se fue desplazando del cerro a la llanura, quedando sólo su iglesia (transformada en ermita) y, al pie del cerro pero al otro lado del río Robo,



surgió un pequeño barrio con el hospital y la iglesia de Santa María de los Huertos (después del Crucifijo) que se conectaba con la villa a través del Portal de Suso (López 1998). En el extremo opuesto, a occidente, tras cruzar el puente se formó otro barrio, Zubiurrutia (literalmente, “tras el puente”), con parroquia dedicada a San Eutropio, donde se instaló en el siglo XIII el monasterio femenino y hospital de dueñas Comendadoras de Sancti Spiritus (Armendáriz y Jimeno 2005).

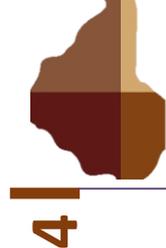
Tras la conquista castellana de Navarra en los siglos modernos, la transformación de los modos de vida modificaron el tipo de viviendas, dándose por amortizadas las estructuras defensivas de la villa medieval (murallas, torreones, portales y fosos), renovación artística de las parroquias (Jimeno 1999a) y adaptación a las modas y necesidades de los nuevos tiempos (construcción de Plaza Mayor y la creación del amplio paseo arbolado paralelo entre la muralla y el río Robo en los siglos XVII-XVIII), pero sin afectar profundamente al trazado urbano medieval, que sobrevivió casi intacto hasta la gran expansión producida a finales del siglo XX, cuando se rebasan claramente los límites originales (especialmente, hacia el Norte y el Este).

La villa fue, durante toda la Edad Media y la Edad Moderna, un importante foco de atracción comercial y religiosa, como fue habitual con tantos otros hitos del Camino de Santiago, lo que nos ha legado una acumulación de edificios históricos de enorme interés que han contribuido a su revalorización actual como centro de atracción de un turismo fundamentalmente cultural, aunque manteniendo también la motivación religiosa del peregrinaje (Jimeno 1999b). Destacan los restos de murallas y torreones, todavía visibles en muchos lugares, pero sobre todo el espectacular puente románico que da nombre y sentido a la villa. También las casas palaciegas y edificios singulares, como la Casa del Vínculo, las parroquias (Santiago Apóstol y San Pedro) y conventos (intramuros Trinitarios y extramuros El Crucifijo y Agustinas).

**Figura 1.** Casa del Vínculo, junto al Portal de la Carnicería, en el acceso desde el Puente Románico



**Fuente:** fotografía propia.



## 2. Promoción turística

En este contexto se encuadran diferentes acciones acometidas por las autoridades municipales de la localidad, con apoyo de la Comunidad Foral, para mejorar sus atractivos turísticos, en este caso muy centrados en su bagaje patrimonial, cultural y de peregrinación, pero con el objetivo también de potenciar otros valores – paisajístico, natural, gastronómico (Corpas, 2011). Se decidió así actuar sobre un edificio de gran interés histórico, la llamada Casa del Vínculo, una monumental “casa blasonada” del siglo XVII erigida sobre la muralla junto al Portal de la Carnicería (que da acceso al puente románico). Por su estratégica situación y su impresionante arquitectura, se decidió la conveniencia de instalar en ella la oficina municipal de turismo, aprovechando además las instalaciones para otros usos culturales (salas de exposición y conferencias, organización de visitas guiadas), para lo cual fue necesaria una reforma integral del edificio (González y Sánchez 2017).

Uno de los objetivos fundamentales de la acción de fomento del turismo buscó proporcionar al visitante contenidos dirigidos a favorecer la inteligibilidad de los elementos patrimoniales de la Villa, su comprensión y su contextualización histórica, fomentando de esta manera su interés por conocer mejor dicho Patrimonio, y favoreciendo la prolongación de la visita. No obstante, la importante inversión necesaria para la remodelación del edificio limitaba los recursos disponibles, por lo que se optó por plantear las acciones de forma modular, sostenibles en el tiempo, pero que pudieran, con un presupuesto relativamente ajustado, presentar resultados casi desde el primer momento, aunque previendo una labor mantenida durante varios años.

La propuesta presentada y aprobada proyectaba la realización de un modelo 3D para recrear la evolución urbanística y arquitectónica de la Villa, como base para la producción de materiales gráficos – infografías y videos – que sirvieran de apoyo a la explicación de los monumentos. Su proyección en una instalación permanente en la Casa del Vínculo, sería clave como “gancho” para animar al visitante a visitar otras zonas de la Villa. Debido a la mencionada limitación presupuestaria, fueron postergadas otras acciones de interés, como la creación de un “museo virtual” en 3D a partir de modelos fotogramétricos de elementos del Patrimonio histórico y artístico de la Villa. La metodología para la realización del modelo de recreación y la producción del material audiovisual fue la utilizada en otros trabajos de similares características desarrollados anteriormente por miembros de este equipo (Serrano y Andreu 2015 y Munilla y Serrano 2019) y otros autores de referencia (a modo de ejemplos, Natampally 2014, Carmona y Calero 2014 y Aparicio 2017).

## 3. Planificación, documentación y definición del objeto

Desde el primer momento, se consideró prioritario cumplir con los requisitos de rigor académico y científico exigibles en el tratamiento del Patrimonio Histórico. Para ello, y tomando como guía el catálogo de buenas prácticas en la Arqueología Virtual que nos ofrecen los Principios de Sevilla, consideramos especialmente aplicables los criterios de Autenticidad (Principio 4) y Rigurosidad Científica (Principio 5).

En nuestro caso concreto, el punto 4.3 de dicho documento resultaba especialmente sensible: “En la medida que muchos restos arqueológicos han sido y siguen siendo restaurados o

reconstruidos en la realidad la visualización asistida por ordenador debe ayudar tanto a los profesionales como al público a diferenciar claramente entre: los restos que se han conservado in situ, los restos que han vuelto a ser colocados en su posición originaria (anastylosis real), las zonas que han sido reconstruidas parcial o totalmente sobre los restos originales, y finalmente las zonas que han sido restauradas o reconstruidas virtualmente.” En efecto, un emplazamiento habitado de manera continuada durante ocho siglos va acumulando los resultados de reformas, derribos y reconstrucciones. Para comprender correctamente esta evolución es necesario profundizar en sus causas, aspecto que, consideramos, debía tener especial protagonismo en los resultados.

Igualmente, central resultaba la aplicación del Principio 5: “Para lograr unos niveles de rigurosidad y veracidad histórica óptimos cualquier forma de visualización asistida por ordenador del pasado debe estar sustentada en una sólida investigación y documentación histórica y arqueológica.” Y especialmente, lo especificado en el punto 5.1: “La rigurosidad histórica de cualquier visualización asistida por ordenador del pasado dependerá tanto de la rigurosidad con la que se haya realizado la investigación arqueológica previa como de la rigurosidad con la que se use esa información para la creación del modelo virtual”. Para ello, ha sido fundamental contar con la implicación de Javier Armendáriz, arqueólogo y profesor en la Universidad de Navarra y la Universidad Nacional de Educación a Distancia, que aporta una visión de primera mano sobre la cuestión al haber participado en excavaciones arqueológicas en diversos puntos de la Villa y en diversas publicaciones (Armendáriz 2002, Armendáriz y Jimeno 2005). El contenido a transmitir en los resultados pretende ser, por tanto, una traducción gráfica de las conclusiones más fundamentadas que se desprenden de años de investigación, limitado sólo por las capacidades técnicas y la disponibilidad presupuestaria.

Con esta cualificada guía y asentadas estas premisas, procedimos a documentar exhaustivamente las referencias necesarias para recrear con rigor los aspectos históricamente relevantes.

**Figura 2.** Algunos ejemplos de las fotografías tomadas para documentar el aspecto actual de algunos de los elementos a recrear - puentes, viviendas, iglesias, torreones, fuentes



**Fuente:** fotografía propia.



Esta tarea se realizó en dos áreas: por una parte, recopilando estudios, análisis y referencias textuales y visuales, incluyendo libros, artículos académicos, ilustraciones, dibujos, pinturas y fotografías, tanto antiguas como actuales. Por otra, mediante una inmersión presencial con un recorrido exhaustivo por los espacios a recrear, obteniendo un valioso catálogo fotográfico de su estado actual.

A la vista de los datos, la primera tarea – común a todo proyecto de recreación histórica – fue la definición del objeto. Desde un punto de vista geográfico, la primera decisión consistió en no limitar la exposición a la superficie construida, sino en proporcionar una visión del entorno lo suficientemente amplia. En efecto, era de vital importancia transmitir determinados factores que condicionaron el emplazamiento del puente, la delimitación del trazado original y su evolución posterior, como son la confluencia de los ríos Arga y Robo, la hipotética ubicación de un paso fluvial previo a la construcción del puente, la delimitación montañosa del valle de Valdizarbe, o el curso de las rutas de comunicación, en particular del Camino de Santiago, para explicar de forma satisfactoria el asentamiento progresivo de los núcleos de población. La decisión implicó, por tanto, acometer la recreación de una notable extensión de terreno, condicionando así el nivel de detalle admisible y la presentación final del video como una sucesión de vuelos de cámara simulados, a diversas alturas en función del aspecto que se desease resaltar para cada época.

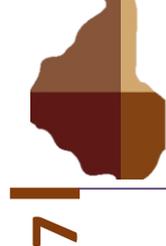
El segundo aspecto a delimitar es siempre el cronológico, para lo cual es fundamental tener en cuenta el objetivo del proyecto (en nuestro caso, mostrar los hitos fundamentales en la evolución urbanística). En el extremo superior, se decidió que el momento inicial de la secuencia debía ser el inmediatamente anterior a la construcción del puente, es decir, los años finales del siglo X, para poder mostrar los elementos (el primitivo poblamiento en el cerro de Murugarren, el hipotético transbordador sobre el Arga o el curso de las rutas de comunicación) que hacían idónea la elección del lugar para la construcción del puente y para el desarrollo urbanístico posterior de su entorno. En el extremo inferior, consideramos que la forma “clásica” de la trama urbana – que es la que se pretendía hacer inteligible – quedó prácticamente fijada tras la transformación del siglo XVIII, con nuevos espacios de uso público (tanto intramuros como en los alrededores). Otros cambios posteriores, como la recuperación temporal de las estructuras defensivas en el Siglo XIX a consecuencia de las guerras carlistas, o la expansión de finales del Siglo XX, podrían ser objeto de posteriores ampliaciones del modelo, no siendo esenciales para el objetivo fundamental del proyecto.

Por otra parte, una trama urbana funciona como un organismo vivo, en continua evolución. Ante la imposibilidad técnica y presupuestaria de realizar un modelo animado que fuese plasmando esas transformaciones en todo el tiempo comprendido, se hizo necesario planificar una serie de momentos clave de dicha evolución, junto con los eventos y elementos característicos sin los cuales sería ininteligible.

Son cinco los momentos en torno a los que se articula el recorrido virtual:

1º Como ya hemos descrito, el inicio se sitúa en el tránsito entre los siglos X y XI, inmediatamente anterior a la construcción del puente.

2º A continuación, se muestra el puente ya construido y los primeros asentamientos en su cercanía, durante la segunda mitad del siglo XI.



3º La creación del trazado urbano y la progresiva construcción de murallas y torreones centran la siguiente etapa, que comprende el resto de la Edad Media, y en la que hacemos explícitas las fases en la erección de las estructuras defensivas, además de la creación de los barrios extramuros del Crucifijo al Este y Zubiurrutia al Oeste, al otro lado del Arga.

4º El siguiente hito refleja el resultado de las importantes transformaciones realizadas durante los siglos XVI y XVII, destacando la ocupación y transgresión de murallas y torreones tras la pérdida de utilidad defensiva de las murallas. Otros aspectos resaltados son la apertura de vanos en los paños de la muralla, la construcción de casas palaciegas, la ampliación de la iglesia de Santiago y el nuevo puente sobre el Robo en el camino a Mendigorriá.

5º El momento final, como ya hemos indicado, muestra los cambios que, merced a la bonanza económica y debido a las nuevas necesidades y modas, se materializaron durante el siglo XVIII, destacando las nuevas construcciones (como la propia Casa del Vínculo, las nuevas torres de las iglesias de Santiago y San Pedro, o los conventos de Trinitarios, Sanjuanistas y Comendadoras), y los espacios de uso público (paseos arbolados, plaza porticada, nuevos portales de acceso). Delimitado así espacial y temporalmente el espacio a recrear, procedemos a crear el modelo 3D a partir del cual produciremos los materiales audiovisuales.

## 4. Creación del modelo 3D

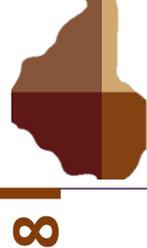
Para todos los elementos que componen la recreación, el proceso es técnicamente el mismo: modelado (creación de la geometría), texturizado (creación de los materiales, incluyendo color y efectos de relieve y brillo mediante mapas de normales y *ambient occlusion*), mapeado (distribución de los materiales sobre las superficies de los modelos) y efectos visuales (en nuestro caso, con especial atención al uso de la vegetación para producir el mayor realismo posible).

El trabajo se llevó a cabo mediante el uso de *Blender* (versión 2.78), aplicación de software libre. Precisamente en aras del realismo, los materiales fueron diseñados mediante el método PBR (*Physically Based Rendering*), a partir de texturas fotográficas de color y mapas de normales que, programados en el editor de nodos de *Blender*, condicionan el cálculo de los trazados de luz para simular el efecto de las superficies en el mundo real.

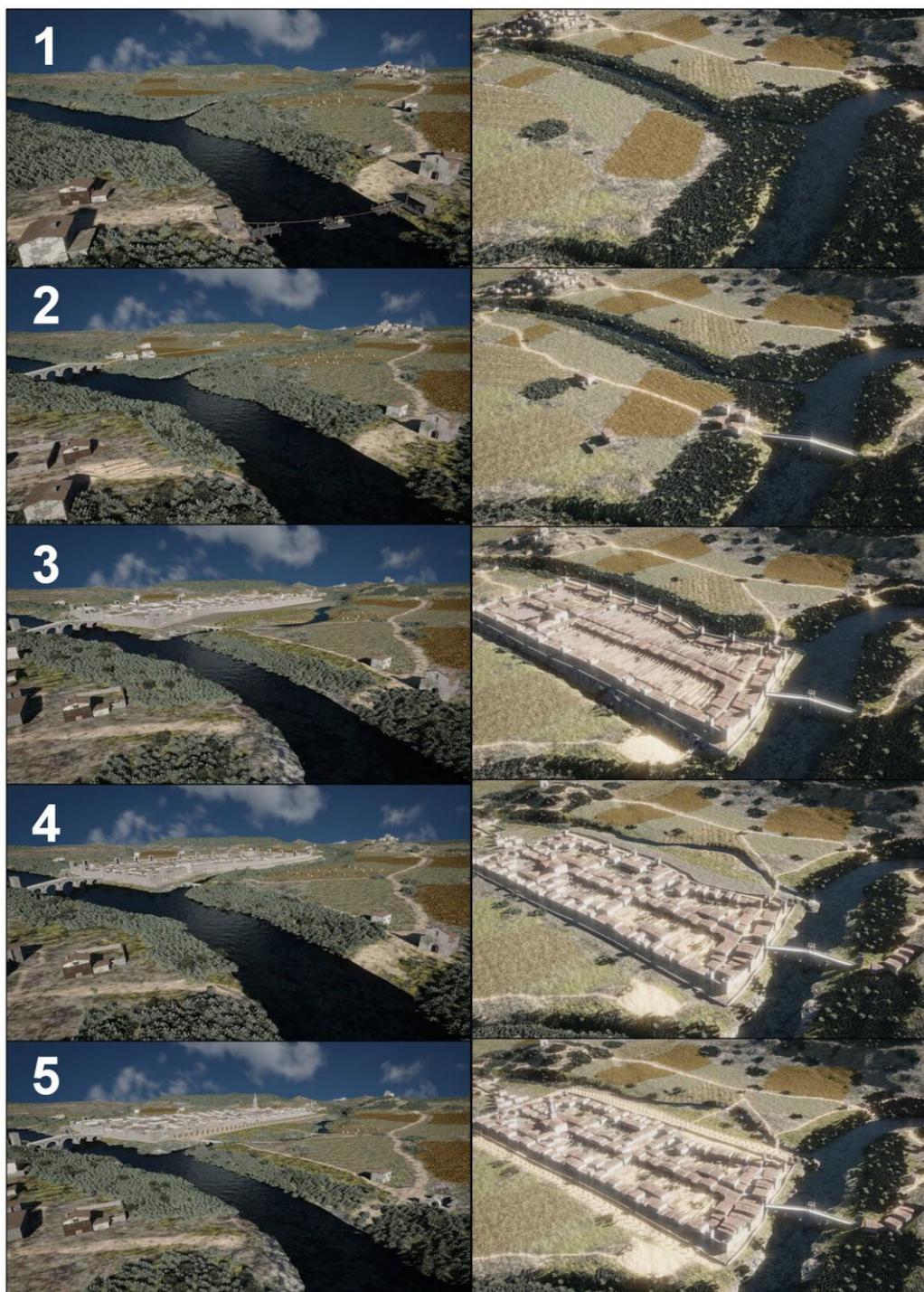
Podemos resaltar las peculiaridades de este flujo de trabajo para cada uno de los elementos constitutivos del modelo:

### 4.1 Modelos digitales del terreno (MDT)

Buscando el máximo realismo y rigor en la recreación, el punto de partida para la creación de la geometría del terreno fue el modelo digital del terreno que el Instituto Geográfico Nacional pone a disposición para su descarga de forma gratuita en su página web. Podemos obtener, para cualquier parte de la geografía española, un fichero en formato ECW (tipo ASCII grid) del modelo digital del terreno producido a partir de datos LIDAR con una resolución de 5 metros (MTN05), suficiente para el nivel de detalle panorámico de este trabajo, así como una imagen de alta definición de las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), utilizada para la vista global de la zona en la actualidad.



**Figura 3.** Panorámicas desde puntos de vista opuestos del espacio recreado en los cinco momentos históricos: situación inicial en torno al año 1000 (1), construcción del puente en el siglo XI (2), fundación de la Villa y aspecto en la Edad Media (3), siglos XVI-XVII (4) y trazado a finales del XVIII (5)



Es importante reseñar que, en este caso, precisamos tener en cuenta un cambio muy significativo en la orografía, ya que está documentado un importante desvío en el tramo final del cauce del río Robo, antes de desembocar en el Arga. En efecto, la muralla en el flanco sur de la villa (conocido como Cerco Viejo) describía una curva muy apreciable que delata el antiguo

curso del río, ya que se construyó paralelamente al mismo. A lo largo de los siglos, los abundantes materiales depositados – sedimentos fluviales y escombros y residuos antrópicos – fueron haciendo que la desembocadura se desplazase notablemente hacia el Sur. Para adaptar la geometría a esta evolución, fue necesario crear un modelo válido para los siglos medievales y otro para las fases de la Edad Moderna, adaptando el duplicado mediante edición de la malla y esculpido digital. De la misma forma fueron tenidos en cuenta los fosos defensivos circundantes, ausentes – como es lógico – en los tiempos anteriores a la fundación, presentes durante todo el período medieval y parte de la Edad Moderna, pero colmatados desde finales del siglo XVII.

El color y los efectos de relieve en el terreno fueron recreados mediante materiales que, de forma similar, tuvieron que adaptarse a la evolución de sus usos y características. Para cada época, creamos mediante pintura digital una textura de color de alta resolución (4K, 4096 x 4096 pixels, para poder abarcar toda la superficie). Los efectos de relieve se añadieron mediante mapas de *Displacement* creados de forma semiautomática mediante la aplicación *Crazy Bump* (versión 1.22), y matizados posteriormente con la herramienta *Texture Paint* y otros añadidos procedurales. Para cada momento histórico, se ha prestado especial atención a las características de cada área (terreno natural, cultivos, con diferentes tamaños de parcelas, caminos y pavimentos).

#### 4.2 Construcciones genéricas

A partir de la documentación recopilada, modelamos y texturizamos una colección de edificios genéricos para uso de vivienda que podemos clasificar en tres grupos: viviendas rurales (creadas de forma modular para introducir cierta variación en tamaños y características), viviendas urbanas medievales (modelos sencillos notablemente estandarizados, con dos alturas y en diferentes materiales, propios de la primera edificación medieval intramuros), y viviendas urbanas modernas (más variadas en altura y complejas en cuanto a elementos y acabados). Las recreaciones se basaron en referencias visuales obtenidas de las fotografías propias mencionadas más arriba, así como de colecciones fotográficas publicadas en la comarca (Belasko y Colomo 2014).

Estos modelos fueron distribuidos sobre los modelos digitales del terreno de cada momento histórico, ofreciendo una panorámica adecuada del estado de las áreas urbana o rural en cada época. Otros elementos importantes para ofrecer esta panorámica fueron las estructuras de separación (cercados, vallas, tapias), así como cobertizos y otras estructuras menores, también variables según la época.

**Figura 4.** Borradores del proceso de recreación de viviendas y estructuras defensivas





### 4.3 Estructuras singulares

Con la finalidad de facilitar la interpretación, varios grupos de estructuras fueron recreadas de forma individual. El criterio empleado fue la máxima fidelidad posible a la forma que presentaban en cada época, aunque con un nivel de detalle limitado por las limitaciones presupuestarias y el elevadísimo número de polígonos acumulados en el modelo.

El primer grupo que podemos destacar es el de las estructuras defensivas (murallas, torreones y portales). Su recreación se realizó con dos tipos de paños murarios (el principal, de mayor potencia y almenado, y el exterior, de menor dimensión y sin almenas, que delimitaba la barbana o calle interior). Los torreones, bestorres abiertas hacia el interior del recinto, de mayor altura que las murallas, fueron distribuidos en las posiciones adecuadas según los estudios históricos y arqueológicos en los que se ha fundamentado la recreación. Igualmente, los portales de acceso han sido recreados fielmente en el número y forma que presentaban en cada fase.

Un segundo grupo de edificios singulares al que se ha prestado especial atención es el de las numerosas iglesias, conventos y edificios de uso religioso, tanto intramuros (iglesias de Santiago, San Pedro y la Soledad, convento de los Trinitarios) como extramuros (Santa María de Murugarren, San Salvador, Santa María de los Huertos – luego iglesia del Crucifijo –, San Eutropio y los conventos de los Sanjuanistas en el barrio del Crucifijo y el de las Comendadoras en Zubiurrutia). Estos modelos aparecen en los momentos adecuados de la secuencia, según la cronología más comúnmente aceptada (Jimeno 2015). Dentro de las comentadas limitaciones en el nivel de detalle, se ha procurado recrear para cada época los volúmenes y los elementos constructivos y ornamentales más significativos de cada una de los edificios, de tal forma que resulten reconocibles, reflejando también las reformas y añadidos más sustanciales que afectaron a algunas de ellas (Jimeno 1999a, López 1988).

En tercer lugar, podemos destacar las casas palaciegas singulares que a lo largo de la Edad Moderna fueron embelleciendo la ciudad, como la Casa del Vínculo, o la Casa de los Cubiertos – que flanqueaba el lado norte de la plaza porticada (Belasko y Colomo 2014).

Por último, y con especial protagonismo, como no podía ser de otra manera, el mismo puente románico ha sido recreado incluyendo elementos desaparecidos a finales del siglo XVIII, como la pequeña capilla dedicada a la Virgen del Puy en su parte más elevada, o la torre defensiva en el extremo de Zubiurrutia. Precisamente por la importancia que tuvo esta zona como punto de cruce sobre el río Arga, se ha prestado atención a la recreación del transbordador

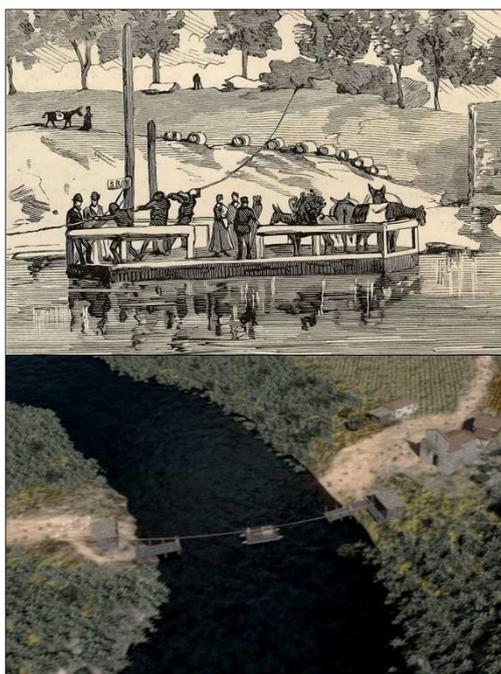
que, muy probablemente permitía el paso antes de la construcción del puente, y cuya ubicación se encontraba probablemente en las cercanías de la desaparecida iglesia del Salvador, muy cerca de la desembocadura del Robo junto a su margen izquierda. Aunque no se ha conservado ningún rastro arqueológico del mismo, la recreación propone la hipótesis gráfica de su existencia en dicho emplazamiento basada en paralelos gráficos (ilustraciones y fotografías antiguas de este tipo de infraestructuras).

#### 4.4 Ambientación, efectos visuales, iluminación

El modelo se completa con diversas técnicas destinadas a proporcionar una ambientación realista, al mismo tiempo que tratan de resaltar cuestiones históricas de interés. Nos hemos referido más arriba a la importancia de la vegetación. Diversos modelos de árboles y arbustos han sido distribuidos por los modelos digitales del terreno mediante sistemas de partículas, controlando su situación y densidad por medio de la selección y la gradación de intensidad de grupos de vértices que proporciona la herramienta *Weight Paint* de *Blender*. De esa manera, para cada terreno y en función del momento histórico, se ha procedido a delimitar extensiones con vegetación natural, zonas cultivadas y áreas urbanizadas y pavimentadas.

Algunos ejemplos: en el cerro de Murugarren, el progresivo despoblamiento y abandono han sido resaltados mediante la desaparición de los edificios y la invasión de vegetación natural, sobreviviendo finalmente sólo la iglesia totalmente rodeada de arbolado, como se aprecia en la actualidad. Así mismo, en los amplios paseos que, siguiendo la moda de la Ilustración, se acondicionaron en los terrenos ganados gracias a la eliminación del cerco exterior y la barbacana, ubicamos árboles de gran porte, perfectamente alineados, para la etapa final del desarrollo de la recreación.

**Figura 5.** Ilustración de una “barcaza de maroma”

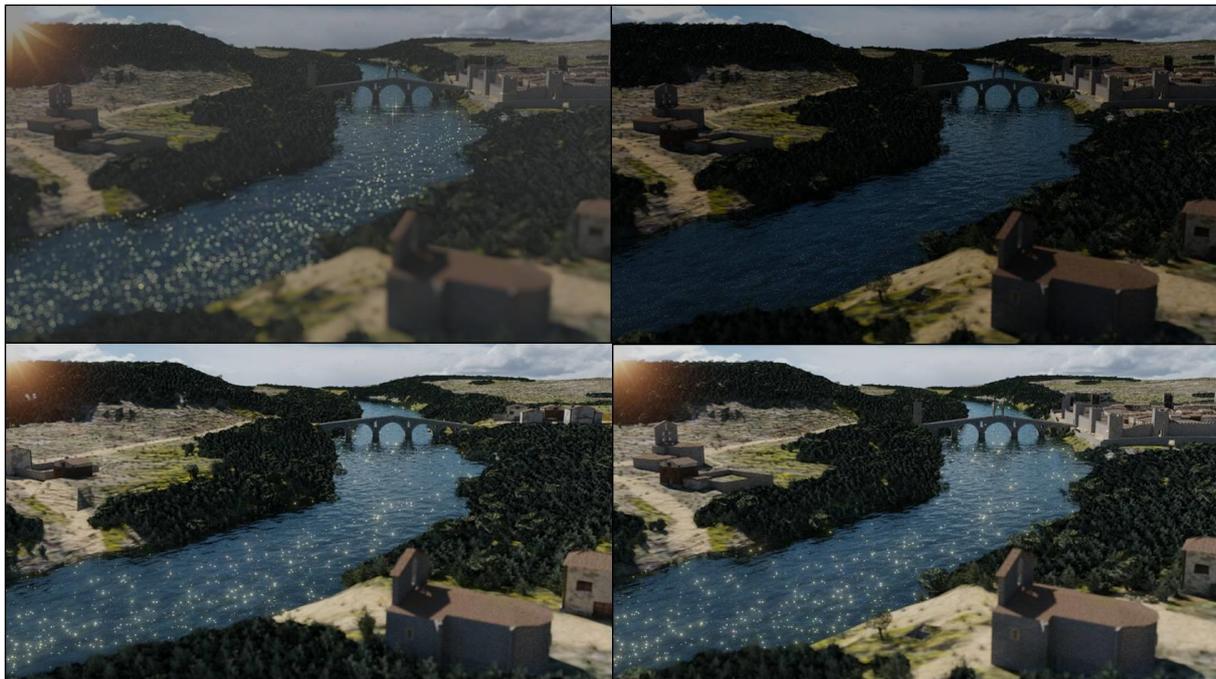


**Fuente:** La Ilustración Española y Americana) que sirvió de base para la recreación del sistema de cruce fluvial anterior al puente. Un ejemplo de hipótesis reconstructiva basada en paralelos.

El agua tiene también en este trabajo especial interés, ya que, además de subrayar la importancia de los cauces fluviales en la elección del emplazamiento, permite resaltar los fosos inundados que rodearon el perímetro fortificado durante toda la Edad Media. Un material con shader reflectante y efectos animados de relieve proporciona el efecto deseado, especialmente con los reflejos conseguidos al hacer incidir la iluminación en el ángulo adecuado.

Precisamente, la iluminación es un importante factor que contribuye a conseguir una ambientación realista. Hemos usado en este caso una luz ambiental mediante una *Environment Texture* de un cielo con una textura HDRI (mapas de bits que incorporan información de luminosidad) y que, configurado como *Background* del modelo, proporciona un fondo fotográfico y un ambiente realista. Las posibilidades de añadir otros efectos están muy condicionadas por la disponibilidad presupuestaria. En ampliaciones posteriores, se puede estudiar la posibilidad de introducir otros elementos que aumenten el realismo, como personajes, vehículos, aves, etc.

**Figura 6.** Capturas de prueba con diferentes configuraciones de cámara, iluminación y efectos de ambientación en postproceso



## 5. Producción de materiales audiovisuales

El modelo producido permite la obtención de diferentes aplicaciones gráficas, principalmente instantáneas fijas y secuencias de video. Nos referimos de nuevo a los Principios de Sevilla de la Arqueología Virtual, y concretamente al Principio 2 (Finalidad), que señala que “previamente a la elaboración de cualquier visualización asistida por ordenador siempre debe quedar totalmente claro cuál es la finalidad última de nuestro trabajo, es decir, cual es el objetivo final que se persigue alcanzar”. Atendiendo a los objetivos que enunciábamos en los primeros apartados, consideramos que el formato de video era el más adecuado para lograr que el visitante interiorizase las ideas básicas sobre el urbanismo puentésino y que pudiera después, durante la visita, identificar los elementos históricos en sus restos conservados actualmente.

La primera fase para producir el video es la creación de las cámaras virtuales. *Blender* ofrece multitud de opciones para configurarlas a imitación de las cámaras del mundo real (posición, encuadre, distancia focal, profundidad de campo, sensibilidad, etc.). Además, es posible introducir secuencias animadas para simular recorridos de cámara. En nuestro caso, el nivel de detalle de nuestro modelo nos permite crear esos “vuelos” a diferentes alturas para mostrar sucesivamente los aspectos más reseñables de cada momento histórico. Las técnicas de movimiento de cámara utilizadas en este trabajo son principalmente las de travelling (lateral, hacia adelante o travelling in, y circulares o en arco), complementadas por un picado inicial y un contrapicado final. Además, el zoom (in y out) actúa en determinados momentos para centrar la atención en un área o elemento que, adicionalmente, se resalta mediante el sombreado del resto de la escena.

El renderizado es el proceso por el que la aplicación calcula el resultado de cada fotograma a partir del efecto que los trazados de luz virtual producen, tras rebotar en las superficies de los modelos, sobre cada pixel del fotograma. El motor de renderizado utilizado para este proyecto es *Cycles*, que funciona por el sistema *Ray Tracing* (que simula el comportamiento físico de la luz real en sucesivos *samples* o trazados) que proporciona gran realismo a las escenas con materiales configurados con el método PBR (al que nos referimos más arriba). El proceso se optimizó mediante el uso de sistemas de reducción de ruido y gestión del color. La resolución escogida para el renderizado fue HD1080p (1920 x 1080 pixels), apta para ser proyectada en pantalla de gran formato manteniendo una calidad y definición óptimas.

A continuación, añadimos los mecanismos de postproceso (*compositing*) en la misma aplicación. Aquí podemos simular efectos que se producen en la fotografía del mundo real, introduciendo filtros, niebla, retoques de color, corrección selectiva de exposición y gamma, manchas de luz (*glare*, *bloom*), aberraciones cromáticas, etc., mediante los cuales aumentamos el realismo o añadimos dramatismo al *render*.

Los fotogramas (*frames*) producidos (30 por segundo), materia prima del video, deben ser montados mediante un editor de video (en este caso, usamos el editor que ofrece la propia aplicación *Blender*) para organizar las secuencias, añadir transiciones, títulos, créditos y sonido. Se determinó también en esta fase la duración y el ritmo del desarrollo, en base a su finalidad: dado que estaba destinado a ser proyectado en bucle continuo en la sala de exposiciones de la Casa del Vínculo, consideramos que una duración máxima de 10 minutos resultaría asumible para el visitante “de paso”.

Especial importancia tuvo en este caso la redacción de textos interpretativos. Precisamente por las características del lugar de proyección, se optó por la inserción de títulos y subtítulos significativos, algunos genéricos y descriptivos de cada momento histórico, y otros destinados a la señalización y descripción de los espacios y edificios más característicos, que sucesivamente se irían resaltando, al paso de la cámara virtual, mediante el oscurecimiento del resto de las áreas. Se procuró a lo largo de todo el desarrollo un balance adecuado en el nivel de comunicación, redactando frases escuetas en un estilo llano y evitando el exceso de tecnicismos, aunque sin olvidar el rigor científico que desde el principio ha imbuido el proyecto. Se confeccionaron en tres versiones: castellano y euskara (lenguas co-oficiales de la Comunidad Foral de Navarra), e inglés, imprescindible por su uso turístico.

**Figura 7.** Fotograma del video final en el que se aprecia el resalte del punto de interés mediante oscurecimiento del resto de la imagen, y con breve texto interpretativo (versión en castellano)



El desarrollo comienza y finaliza con una vista cenital ortográfica del aspecto actual de la Villa, destinada a facilitar al espectador la identificación de los espacios también durante la visita. El resultado es una pieza de video de algo más de 8 minutos y medio (un minuto más para títulos y créditos). Se realizó también un teaser de 30 segundos destinado a la difusión en Redes Sociales, ya que la versión completa sólo se puede visualizar, por deseo del Ayuntamiento, en la misma exposición. La difusión se realizó mediante un acto de presentación en la propia Casa del Vínculo.

## 6. Conclusión

El trabajo expuesto es un ejemplo paradigmático de la aplicación de algunas técnicas de virtualización aplicadas a la interpretación y difusión del Patrimonio histórico. Se está produciendo una “democratización” del diseño 3D propiciada por el rápido desarrollo de aplicaciones de software libre – como Blender – con prestaciones equivalentes a las comerciales, y por la simplificación de su interfaz de usuario, que facilita el aprendizaje de técnicas básicas. Ello ha propiciado que resulte cada vez más frecuente encontrar profesionales formados en especialidades de la Historia o la Arqueología que, mediante cursos especializados eminentemente prácticos, adquieren competencias suficientes para realizar con solvencia proyectos del tipo que nos ocupa, contribuyendo de esta forma complementar la oferta turística y cultural con recreaciones de alto valor y rigor científico.

Consideramos satisfactoriamente cumplido el objetivo fundamental de este proyecto: las instalaciones de Puente La Reina cuentan ya con un material gráfico que proporciona al visitante un complemento enriquecedor, al favorecer la inteligibilidad histórica de los espacios que acto seguido va a conocer.

Debemos, no obstante, hacer referencia a otro de los Principios de Sevilla, concretamente el 6 (Eficiencia). El punto 6.3 enuncia que “siempre que sea posible se aprovecharán los resultados obtenidos por proyectos de visualización anteriores, evitando la duplicidad, es decir, la

realización de los mismos trabajos por dos veces”. Un modelo como el desarrollado en este proyecto ofrece posibilidades de reutilización en aplicaciones mucho más amplias que el video recorrido implantado.

Disponemos, por tanto, de unos sólidos cimientos que conviene aprovechar y “rentabilizar” en los próximos años. Citemos, a modo de ejemplo, la posibilidad de extender el contenido del video a otros períodos de interés que no han podido ser abarcados en este trabajo, como las citadas transformaciones defensivas acometidas durante las Guerras Carlistas (comprendiendo la recreación de los fortines de esta época en los alrededores, bien identificados y estudiados, que complementarían la ruta senderista existente). También puede ser la base de posteriores acciones que, mediante otras técnicas como la realidad virtual o aumentada, ayuden a trasladar esa interpretación a los puntos que se desee, enriqueciendo aún más la experiencia de la visita. Esperamos que las posibilidades presupuestarias acompañen a la buena voluntad de los responsables.

## REFERENCIAS

- ACELDEGUI APESTEGUÍA, Alberto. *75 historias de Puente la Reina-Gares*. Estella: Edición del autor, 1999.
- APARICIO RESCO, Pablo. La torre-almenara de San García. Algeciras (S. XVII-XVIII). Recuperación virtual de una estructura militar gracias a la tecnología. *Revista Otarq: Otras arqueologías*, n. 1, pp. 325-334, 2017.
- ARMENDÁRIZ MARTIJA, Javier. Memoria de la intervención arqueológica en el puente románico de Puente la Reina. *Trabajos de Arqueología Navarra*, n. 16, pp. 175-202, 2002.
- ARMENDÁRIZ MARTIJA, Javier; JIMENO JURÍO, José María. Puente la Reina/Gares: estudio histórico-arqueológico de su urbanismo y sistema defensivo medieval. *Trabajos de Arqueología Navarra*, n. 18, pp. 113-174, 2005.
- BELASKO ORTEGA, Mikel; COLOMO CASTRO, Koldo (Coord.). *Casas de Valdizarbe y Valdemañeru: nombres e historia*. Pamplona, Asociación Loxa, 2014.
- CARMONA BARRERO, Juan Diego; CALERO CARRETERO, José Ángel. Recrear para entender: Una propuesta de reconstrucción de las termas de Alange (Badajoz). En: *Actas XVIII Congreso Internacional Arqueología Clásica: CIAC*, [Mérida, 2013] / coord. por José María Álvarez Martínez, Trinidad Nogales Basarrate, Isabel Rodà de Llanza, v. 1, 2014.
- CARRASCO PÉREZ, Juan. El camino navarro a Compostela: los espacios urbanos (siglos XII-XV). En: Juan I. Ruiz de la Peña (Coord.) *Las peregrinaciones a Santiago de Compostela y San Salvador de Oviedo en la Edad Media. Actas del Congreso Internacional celebrado en Oviedo del 3 al 7 de diciembre de 1990*. Oviedo: Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias, pp. 103-170, 1993.
- CORPAS MAULEÓN, Juan Ramón. El Camino de Santiago como recurso turístico. Cátedra de Patrimonio y Arte Navarro, Universidad de Navarra. *Cuadernos de la Cátedra de Patrimonio*, n. 5, pp. 111-124, 1977.
- DÍEZ Y DÍAZ, Alejandro. *Puente la Reina y Sarría en la Historia y en el Arte*. Estella: Ed. Verbo Divino, 1989.

- GONZÁLEZ MARTÍNEZ, Purificación; SÁNCHEZ-OSTIZ GUTIÉRREZ, Ana. Rehabilitación de la casa del vínculo de puente la Reina-Garés (Navarra, España). En: *ReUSO, Granada 2017: sobre una arquitectura hecha de tiempo*, pp. 217-224, 2017.
- IDOATE IRAGUI, Florencio. *El Señorío de Sarría*. Pamplona: Gráficas Iruña, 1959.
- JIMENO ARANGUREN, Roldán. De las iglesias propias a las parroquias: constantes históricas de la Iglesia occidental a través del ejemplo de Puente la Reina. *Príncipe de Viana*, v. 261, pp. 487-495, 2015.
- JIMENO JURÍO, José María. Puente la Reina: Iglesia de Santiago, del románico al renacimiento. *Príncipe de Viana*, v. 60, pp. 631-656, 1999<sup>a</sup>.
- JIMENO JURÍO, José María. *Puente la Reina. Confluencia de rutas jacobeanas. Colección Panorama*, 29. Pamplona: Gobierno de Navarra, 1999b.
- LÓPEZ ANDOÑO, Javier. *El Crucifijo de Puente la Reina. Imagen, iglesia, convento. Aproximación histórica*. Madrid: Gráficas Dehon, 1998.
- MUNILLA CABRILLANA, Gloria et al. *Alto de la Cruz, las claves de la protohistoria europea: el discurso museográfico de la exposición permanente y el modelo de reconstrucción virtual. Musealizando la protohistoria peninsular*. Barcelona: Universitat de Barcelona, pp. 127-141, 2019.
- NATAMPALLY, Meera. Visual reconstruction of Hampi Temple: Construed Graphically, Pictorially and Digitally. *Virtual Archaeology Review*, v. 5, n. 10, pp. 117-126, 2014.
- SEAV (Sociedad Española de Arqueología Virtual). *Los principios de Sevilla. Principios internacionales de la arqueología virtual*. Documento presentado en 3er Forum Internacional de Arqueología Virtual, Sevilla, España, 2011.
- SERRANO BASTERRA, Pablo; ANDREU PINTADO, Javier. Forum Renascens (Los Bañales de Uncastillo, Zaragoza): Arqueología de la Arquitectura de un foro romano al servicio de la difusión por medio de la Arqueología Virtual. *Virtual Archaeology Review*, v. 6, n. 12, pp. 109-121, 2015.
- PASSINI, Jean, *Villes médiévales du chemin de Saint-Jaques de Compostelle (de Pampelune a Burgos). Villes de fondation et villes d'origine romanine*, Paris: Editions Rechersh sur les Civilisations, 1984.
- PASSINI, Jean, "Morfología urbana de las poblaciones del Camino de Santiago". En: Juan I. Ruiz de la Peña (Coord.). *Las peregrinaciones a Santiago de Compostela y San Salvador de Oviedo en la Edad Media. Actas del Congreso Internacional celebrado en Oviedo del 3 al 7 de diciembre de 1990*. Oviedo: Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias, pp. 257-267, 1993.
- URANGA SANTESTEBAN, José Javier. Puente la Reina, del puente al fuero (1085-1122). *Scripta Theologica*, v. XVI, pp. 307-313, 1984.