

ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO DE LA PUERTA DE SAN MIGUEL DEL CASTILLO DE SANCHO IV (CUMBRES MAYORES, HUELVA) A TRAVÉS DE MODELOS HBIM

ROQUE ANGULO FORNOS, MANUEL CASTELLANO ROMÁN,
JOSÉ MARÍA GUERRERO VEGA Y FRANCISCO PINTO PUERTO

Profesores doctores arquitectos de la Universidad de Sevilla. Grupo PAIDI
HUM-799 Estrategias de Conocimiento Patrimonial.

Resumen: El papel de los modelos digitales en el conocimiento, intervención y gestión de edificios de carácter patrimonial es una cuestión que actualmente está sometida a un amplio debate y experimentación. La correcta valoración de la pertinencia y utilidad de estos modelos necesita de experiencias iniciales para poder afianzarse y adaptarse a los requerimientos de las instituciones públicas y privadas que son, en última instancia, las responsables de la tutela de los bienes culturales. Esta aportación muestra los avances en la aplicación de recursos, metodologías, técnicas y herramientas HBIM en los procesos de tutela patrimonial de la puerta de San Miguel del Castillo de Sancho IV en Cumbres Mayores. El trabajo se ha centrado en la etapa de conocimiento, puesta en valor y difusión, como resultado de la convergencia del análisis arqueológico y arquitectónico.

Palabras clave: Fotogrametría, Levantamiento y análisis arquitectónico, HBIM, Castillos

Abstract: The role of digital models in the knowledge, intervention and management of heritage buildings is an issue that is currently the subject of much debate and experimentation. The correct assessment of the relevance and usefulness of these models needs initial experiences to consolidate and adapt to the requirements of public and private institutions, which are ultimately responsible for the protection of cultural assets. This contribution shows the advances in the application of HBIM resources, methodologies, techniques and tools in the processes of heritage protection of the San Miguel Gate of the Castle of Sancho IV in Cumbres Mayores. This work has focused on the phase of knowledge and dissemination, as a result of the convergence of archaeological and architectural analysis.

Keywords: Photogrammetry, Survey and architectural analysis, HBIM, Castles.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El papel de los modelos digitales en el conocimiento, intervención y gestión de edificios de carácter patrimonial es una cuestión sometida en la actualidad a un amplio debate y experimentación. Dentro de estos modelos digitales, los modelos de información patrimonial (HBIM, *Heritage Building Information Modeling*) reciben una significativa atención por las ventajas que ofrecen frente a modelos exclusivamente vectoriales. La fundamental es su capacidad de aunar el modelo gráfico tridimensional con la información arquitectónica y patrimonial relativa a los aspectos fundamentales de la tutela: investiga-

ción, protección, conservación y difusión, lo cual amplía las posibilidades de una gestión eficiente y sostenible de ésta. La correcta valoración de la pertinencia y utilidad de estos modelos HBIM, que a medio plazo serán una exigencia normativa, necesita de experiencias iniciales para poder afianzarse y adaptarse a los requerimientos de las instituciones públicas y privadas que son, en última instancia, los responsables de la tutela de los bienes culturales.

Una forma racional de emprender estas labores es la de ajustar las experiencias a los requerimientos necesarios a corto plazo, trabajando sobre casos de estudio acotados y controla-



Figura 1. Imagen de la Puerta de San Miguel en la que se reconocen evidencias estratigráficas que han permitido documentar el proceso evolutivo de la fábrica.

bles. En este sentido, se presentan los resultados de la iniciativa planteada por el Departamento de Conservación del Patrimonio Histórico de la Delegación Provincial de Cultura, Turismo y Deporte en Huelva para la aplicación de estas nuevas herramientas y metodologías sobre el

Castillo de Sancho IV en Cumbres Mayores, un objeto de estudio en proceso de documentación, análisis y puesta en valor.

El análisis y la posible intervención de un bien inmueble de estas características mejora,



Figura 2. Modelo de malla texturizada del ámbito de la puerta de San Miguel.

inequívocamente, mediante un control exhaustivo a nivel geométrico y formal de todos sus espacios y elementos constructivos y estructurales. Por ello, este mismo equipo de trabajo desarrolló anteriormente un modelo tridimensional completo de la fortaleza en forma de nube densa de puntos a partir de fotogrametría digital. Se obtuvo además otro modelo en forma de malla de triángulos texturizada que ha permitido la obtención de gráficos con información superficial detallada que constituyen, por sí mismos, una documentación rigurosa del estado actual del recinto. Estos modelos digitales permitieron contar con información gráfica lo suficientemente precisa y amplia para apoyar un análisis profundo a nivel geométrico y constructivo.

A partir de la síntesis de la caracterización geométrica y el análisis arquitectónico se elaboró un modelo digital de información HBIM del conjunto a un nivel de conocimiento básico. Este modelo HBIM general de la fortaleza ha servido como base para el desarrollo de modelos avanzados de los ámbitos objeto de esta comunicación: barbacana, buhera, torres de flanqueo y puerta de San Miguel, contando con el estudio arqueológico-paramental realizado por el arqueólogo Timoteo Rivero Jiménez¹. El desarrollo de estos modelos se ha sostenido sobre las aportaciones de la arqueología y el aná-

¹ Rivera Jiménez, Timoteo. 2022. *Informe del estudio paramental en la puerta de San Miguel. Castillo de Sancho IV El Bravo, Cumbres Mayores, Huelva.*

lisis arquitectónico, con el apoyo gráfico de los modelos desarrollados en la fase anterior, en un flujo de trabajo cíclico o de ida y vuelta entre ambas disciplinas.

JUSTIFICACIÓN Y PROPUESTA METODOLÓGICA

El trabajo desarrollado sobre el ámbito de la puerta de San Miguel se ha estructurado en tres etapas, descritas secuencialmente, pero desarrolladas en paralelo:

Etapas 1 – Análisis arquitectónico avanzado

Se llevó a cabo la caracterización geométrica, formal y constructiva del ámbito espacial. Esto ha implicado el reconocimiento perceptivo de masas y espacios, los sistemas constructivos, la articulación existente entre las partes y el modo de funcionamiento, con apoyo documental e historiográfico. Además se establecieron las relaciones topológicas entre los elementos que componen cada modelo de información. Estas relaciones recogen los resultados del análisis arqueológico, que estableció la secuencia diacrónica de transformaciones.

Etapas 2 – Generación de modelos HBIM

El modelo HBIM disponible del conjunto identificaba las partes generales que lo constituyen, separadas como elementos constructivamente

homogéneos en base al análisis arquitectónico realizado y la documentación existente: lienzos de muro, torres, puertas, etc.

En el caso que se presenta se ha desarrollado modelos avanzados, a un nivel de detalle y conocimiento mayor, de aquellas zonas dotadas de un mayor nivel de información en base a campañas de reconocimiento arqueológico o a estudios previos a las intervenciones de conservación. En este caso la unidad mínima de información estará constituida por fragmentos adscritos a actividades y unidades estratigráficas concretas: recrecidos apertura y cegado de huecos, demoliciones, etc.

La estructura de la información contenida en el modelo digital incluye la descripción del edificio y sus elementos constituyentes, los materiales y sistemas constructivos y la caracterización histórica-cronológica. Esta estructura de información es susceptible de ampliarse en el futuro con datos sobre bienes asociados, lesiones, tratamientos y programación del mantenimiento y la conservación.

Etapa 3 – Generación de repositorio de información patrimonial HBIR

En paralelo al modelo HBIM, y como base de un entorno común de datos sobre el bien cultural, se constituye un repositorio de información patrimonial que contiene los registros de información localizados, con vocación de exhaustividad y en formato digital. Este repositorio se estructura como un sistema de carpetas de archivos gestionada por una base de datos, en permanente expansión por adición de tantos recursos de información se localicen o se generen.

RESULTADOS DEL TRABAJO SOBRE EL PROCESO EVOLUTIVO

Centraremos la atención en la aplicación del modelo al análisis y descripción del proceso constructivo. A partir del levantamiento fotogramétrico se ha generado un modelo HBIM de la puerta de San Miguel y de sus elementos anexos, sobre la base del estudio arqueológico. Este establece una diferenciación de «elementos constructivos significativos», que ayudan a identificar las diversas transformaciones sufridas desde la etapa fundacional hasta la actualidad: aparejos de las esquinas, tipo de mampuestos, arcos de embocadura, saeteras, desagües y

remates de almenas. Por otro lado, se identifican unas fronteras o interfaces donde se hacen evidentes las discontinuidades entre las distintas fases.

Los elementos constructivos señalados como unidades en el estudio arqueológico, imprescindibles para establecer estas fases, no se han identificado como elementos paramétricos autónomos en el modelo, sino como partes de una unidad mayor asociada a una acción constructiva concreta: elevación de volumen, construcción de la pieza que une ambas torres y creación de un matacán corrido, construcción del revellín, remociones y desmontajes, etc. Sin embargo, las fronteras o interfaces si han servido para fragmentar el volumen que representa el estado actual, en distintos elementos asociados a estas acciones. Por tanto, este modelo está estructurado en elementos y subelementos paramétricos cuya escala de desarrollo es la de una unidad constructiva completa, a la que se asocia un momento histórico de construcción y destrucción, además de datos asociados a la materialidad, tipología constructiva, denominación, cronología precisa, etc.

Las horquillas temporales de cada pervivencia de cada elemento, que denominamos fases, vienen determinadas por las hipótesis cronológicas marcadas en el estudio arqueológico que, en resumen, ha determinado la existencia de cinco fases, resultado de un detenido análisis estratigráfico de la superficie de los muros, del análisis de fotografías antiguas que recogen estados anteriores a las reconstrucciones contemporáneas, y de datos historiográficos: unos de carácter genérico que relaciona el Castillo con los del entorno regional (Collantes de Terán 1953; Morales 1976; Casquete de Prado 1993), otros relativos a referentes tipológicos como coetáneos (Rivera, Romero y Jiménez 2015) o específicos del castillo de Cumbres Mayores (Valor y Casquete 1994, Romero 2002, Romero 2003).

Así, este modelo pretende servir de base de datos del conocimiento adquirido hasta el momento, estructurada tanto en los elementos paramétricos resultantes del análisis arquitectónico y arqueológico, como los datos historiográficos y materiales de carácter alfanuméricos asociados a ellos. Desde el modelo pueden extraerse de una forma sistematizada imágenes que sirvan para el apoyo a los informes y a la difusión de los resultados y faciliten su visualización, tanto como volumetrías 3D o proyec-

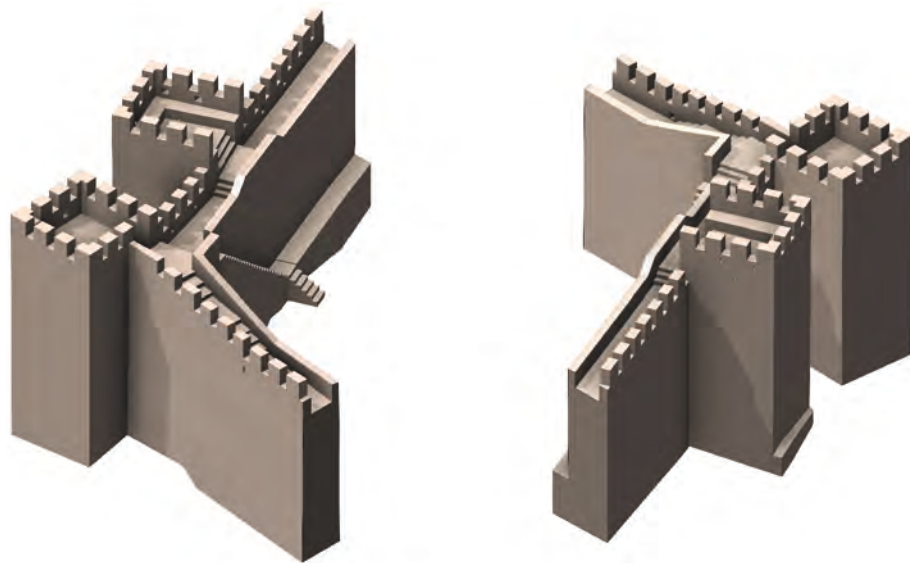


Figura 3. Construcción del recinto en 1293, en época de Sancho IV (Fase I).

nes 2D de cada etapa histórica en función de los parámetros que se seleccionen.

De acuerdo con el proceso metodológico descrito, presentamos a continuación los resultados pormenorizados de cada una de las etapas.

Etapas 1 –Análisis arquitectónico avanzado de las fases constructivas

Para su definición gráfica, que a la postre guiarían la construcción del modelo digital, se han elaborado croquis analógicos que permitieron discutir y ajustar el modo de fragmentar el modelo en elementos que fueran coherentes con la evolución constructiva interpretada. Las figuras que apoyan la descripción de estas fases provienen del modelo HBIM, caracterizando las demoliciones y las nuevas construcciones en cada fase, expuestas aquí en orden cronológico.

La primera fase es la de configuración de los volúmenes de dos torres de altura semejante franqueando la puerta, asociadas a los lienzos de forma similar al resto de las torres de la cerca. Estas torres estarían coronadas por almenas, abiertas hacia el adarve del muro. El plano de uso de estas torres estaría elevado unos escalones. El perímetro interior del peto estaría formado por una bancada de fábrica sobre la que se sitúan las saeteras. Entre ambas torres, el adarve descendería varios escalones quedando el peto y las almenas a una cota inferior a las del resto del muro. Los niveles marcados son cohe-

rentes a los desagües que se han conservado tras las reformas.

Este momento corresponde al estado inicial de la estructura defensiva, que tendría un aspecto muy parecido a las torres de acceso al castillo de Cumbres de San Bartolomé. La fecha de fundación se sitúa, junto a la del castillo de Santa Olalla, en torno a 1293, en tiempos de Sancho IV (Valor y Casquete 1994, 475).

La segunda fase supone una reforma importante de los elementos de defensa. Se construye un recinto delantero a la puerta para crear un acceso acodado; se recrece el tramo de adarve entre las dos torres para mejorar la visión sobre el nuevo avance; se eleva la torre de la esquina para mejorar la visibilidad y la defensa. Las tres intervenciones están relacionadas y han dejado huellas suficientes en los muros. El recrecido de la torre genera una puerta de acceso y una escalera, y plantea la duda de poder haber permitido también una estancia cubierta, aunque de esto último no hay suficientes huellas. El recrecido produce un nuevo plano elevado de uso cerrado perimetralmente por un peto y almenas y un banco perimetral, compatibles con la posición actual de la escalera. La altura sería la del rellano de la escalera antes de quebrar su subida. Se ha discutido la posibilidad de que existiera una cámara o cuarto del alcaide —semejante a la existente en Santa Olalla— resultado de este recrecido, pero no se han detectado elementos determinantes para poder afirmarlo, por lo que no se ha incluido en el modelo. Esta fase se asocia a la construcción del castillo de Cala, apenas 50

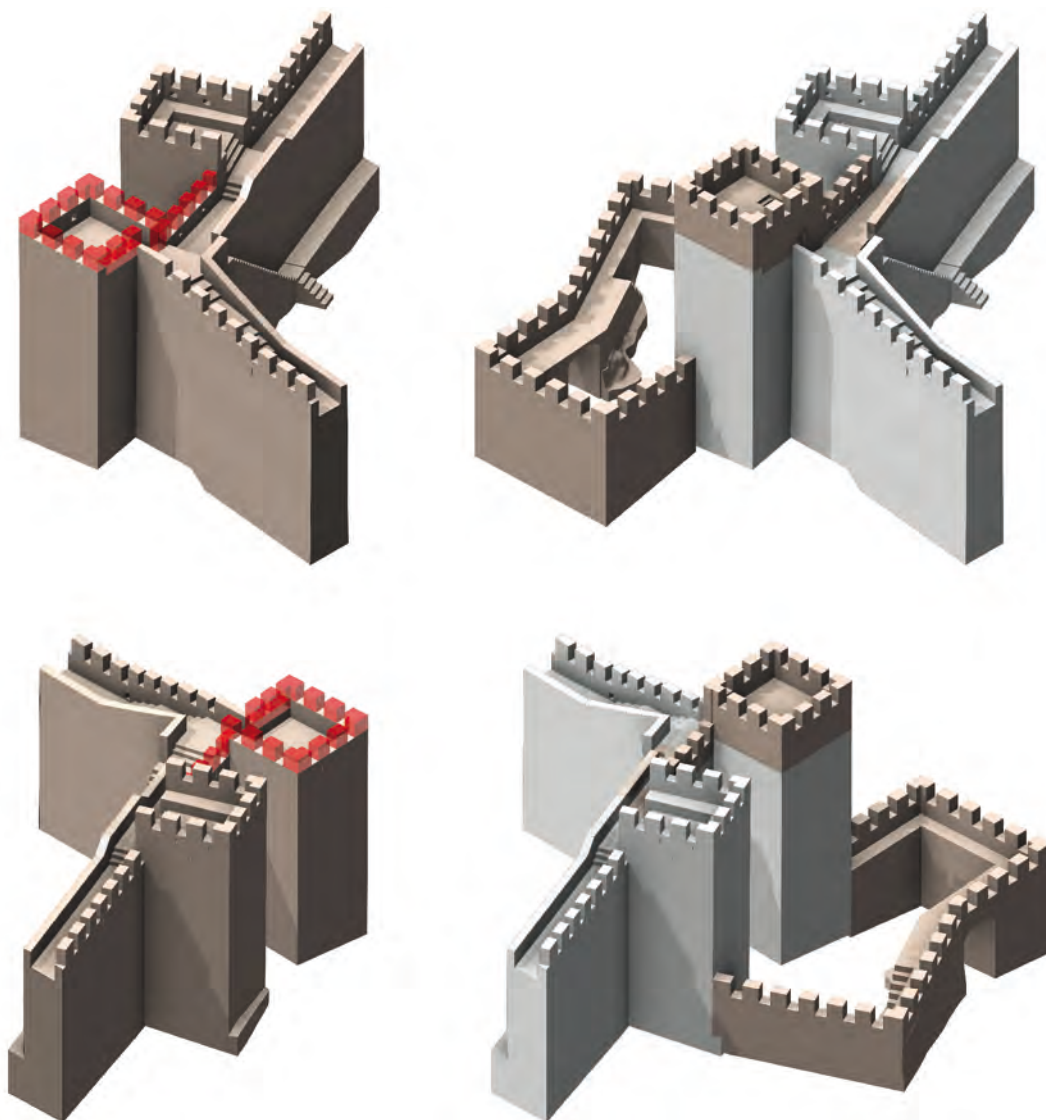


Figura 4. Primera reforma de la puerta en 1350, tras las incursiones portuguesas y el refuerzo de la banda gallega (Fase II). Se construye una barbacana y se recrece la torre y el adarve entre ambas torres. A la izquierda, en rojo, los elementos que fue necesario desmontar para poder proceder a las ampliaciones grafadas a la derecha.

años después de la fase anterior, en torno a 1350. Para poder realizar esta operación, se procedió al desmontaje generalizado de las almenas de la torre de esquina y del adarve intermedio. De los elementos desaparecidos han quedado algunos restos que han permitido configurar el estado previo y las piezas desmontadas y las interfaces de los adosamientos entre fábricas. También han sido determinantes el cambio en el aparejo de piedra de las esquinas.

Respecto al avance delante de la puerta, a modo de revellín (barbacana en el informe arqueológico), se documenta su configuración a través de la existencia de dos elementos: el

aparejo de piedra actualmente conservado que sería la jamba de una puerta, y los restos que se observan en una fotografía antigua pendiente de datación.

La tercera fase supone un nuevo refuerzo de las defensas del castillo, que afecta a la parte superior de las dos torres y al muro del avance delante de la puerta. En este momento cambia radicalmente la configuración de la puerta, pasando de dos torres claramente diferenciadas volumétricamente y en altura, a una pieza unitaria que define una gran torre fachada entre las que se sitúa un arco que oculta una gran buhera. Al mismo tiempo, se recrece el avance defensi-

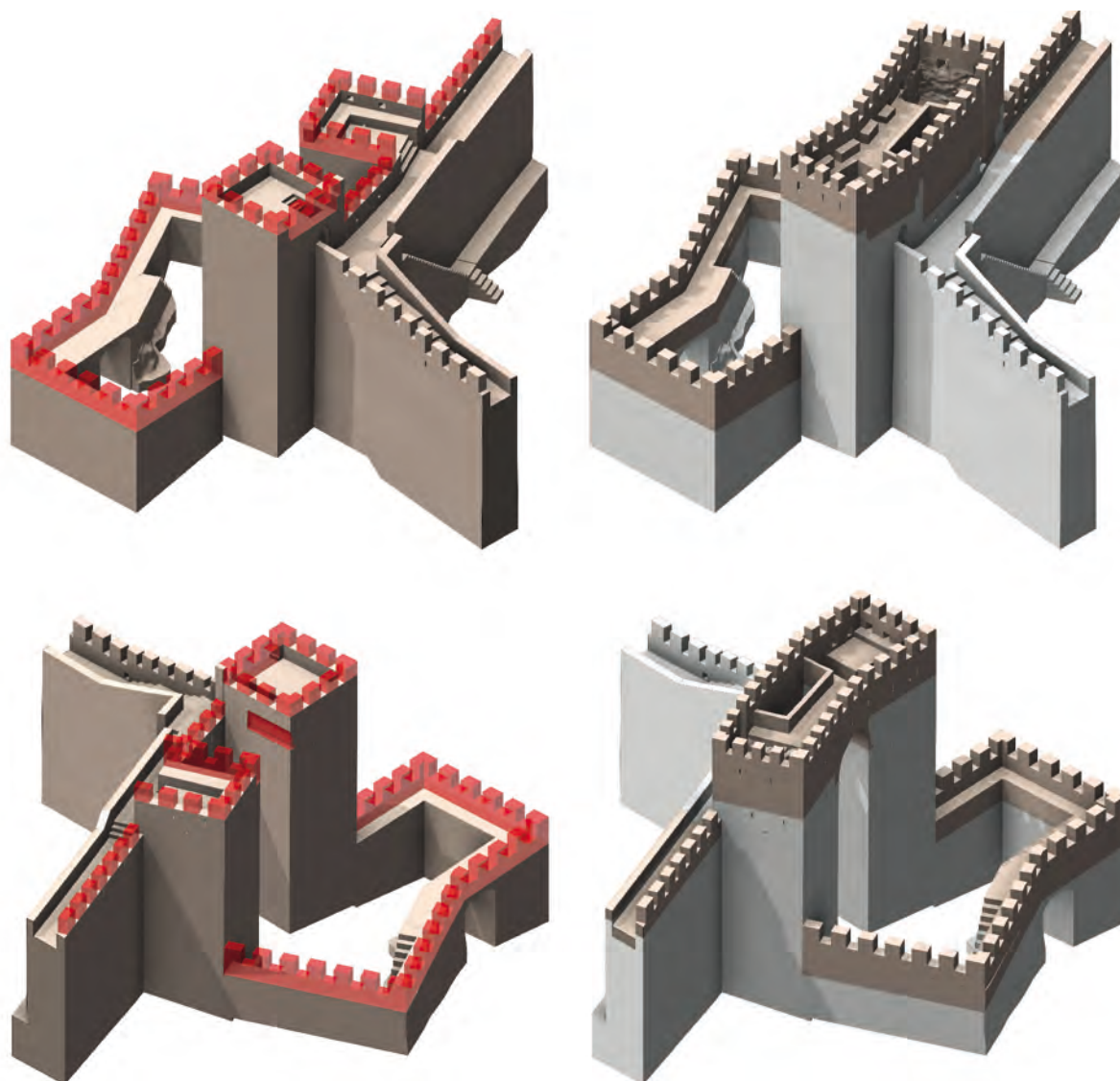


Figura 5. Segunda reforma realizada en torno a 1388-89 de guerra con Portugal (Fase III). En rojo, a la izquierda, los elementos necesarios de dismantlar para poder levantar los nuevos recercados de la barbacana y la unión de las dos torres, a la derecha.

vo. Para poder realizar esta reforma se realizaron una serie de operaciones que han quedado recogidas en el modelo: dismantlado de las almenas de la torre y peto entre torres, así como del muro de avance; dismantlado de parte de la torre de esquina para recibir el gran arco que la une con la otra torre; recercado de la segunda torre hasta la altura de la anterior, recibiendo de igual forma la otra imposta del arco que las une; construcción de un volumen unitario sobre estas; colocación del almenado y terminación de la buhera. Las uniones entre los diversos elementos constructivos muestran interfaces de diverso tipo, algunas claramente diferenciables,

mientras otras arrojan ciertas dudas. Esta fase corresponde al siglo XIV (Valor y Casquete de Prado 1994, 479), en relación con los años de guerra con Portugal (1386 y 1388).

La cuarta fase se corresponde con operaciones de restauración contemporáneas, entre los años 1970 y 1998, como es el caso de la construcción de los remates piramidales de las almenas o pequeñas alteraciones de la escalera de subida desde la cota de acceso al adarve. A esta misma etapa de modificaciones se debe la eliminación de parte del avance delantero a la puerta, el retranqueo de las construcciones ganaderas junto a la torre de esquina y la demoli-

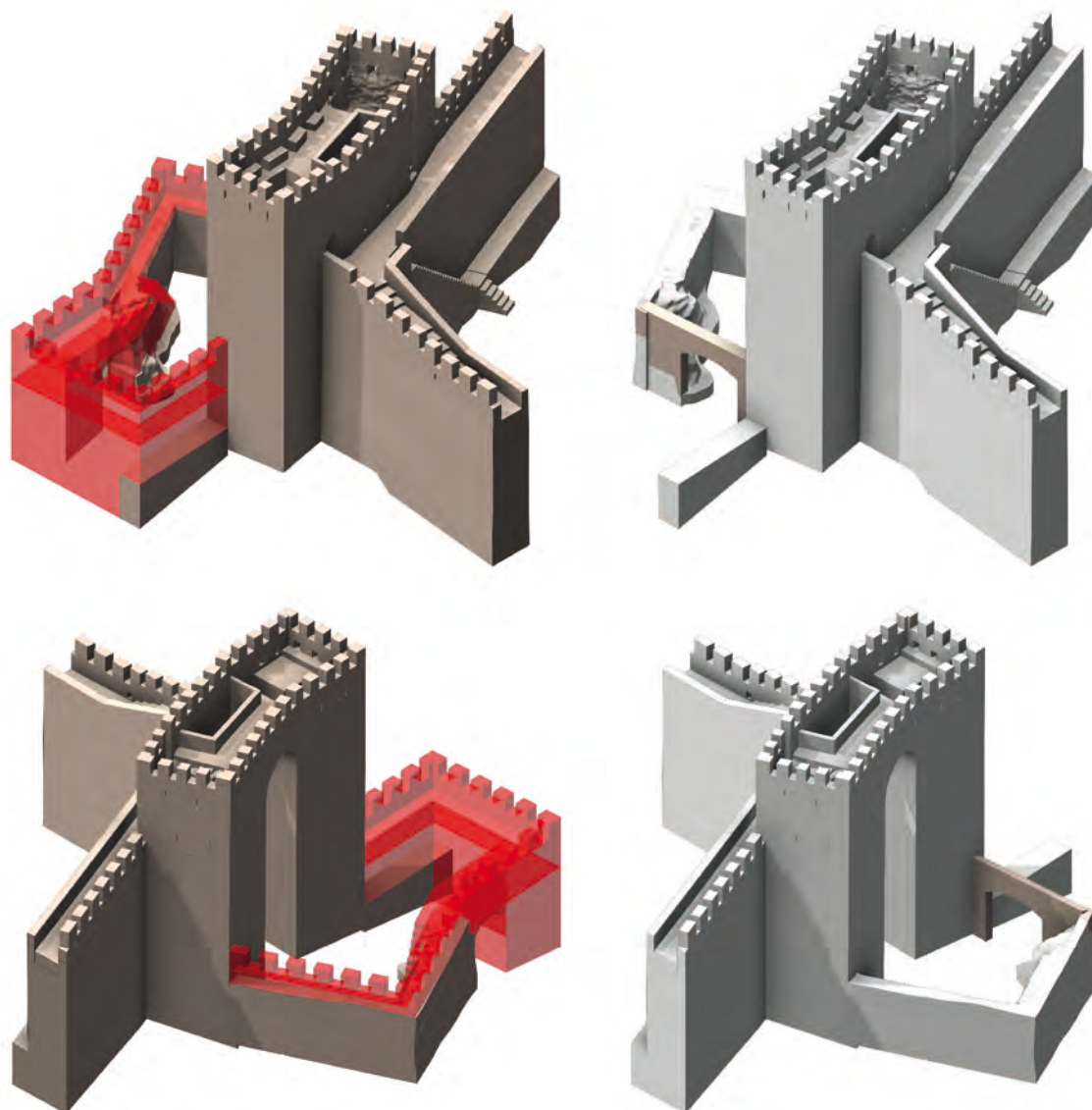


Figura 6. Reformas en el siglo XX consistente en el desmontaje de la barbacana delantera para ganar espacio urbano, a la izquierda en rojo, y la construcción de un arco de acceso, a la derecha (Fase IV).

ción del muro allí existente, o la construcción de un arco de fábrica de ladrillo para el cierre del monumento.

Finalmente, la quinta fase se corresponde con reformas posteriores a 1994, consistentes en la eliminación de restos murales de la barbacana del arco de fábrica de ladrillo de acceso construido en una intervención anterior, que es sustituido por una cancela metálica.

Etapas 2 – Generación de modelos (HBIM)

En esta etapa se ha generado el modelo HBIM de la puerta de San Miguel, cuyas imágenes ya se

han adelantado en las figuras que han ilustrado las diferentes fases constructivas. La geometría de todas las entidades gráficas que conforman el modelo avanzado se ha generado por la fragmentación del modelo general del conjunto, de acuerdo con las premisas establecidas en el análisis arquitectónico avanzado.

Así, se ha establecido una primera fragmentación general basada en la naturaleza constructiva de la fortaleza, para luego pasar a una segunda fragmentación tomando como unidad mínima de información elementos continuos que responden a una misma actividad dentro de la evolución por etapas establecida en el análisis previo.

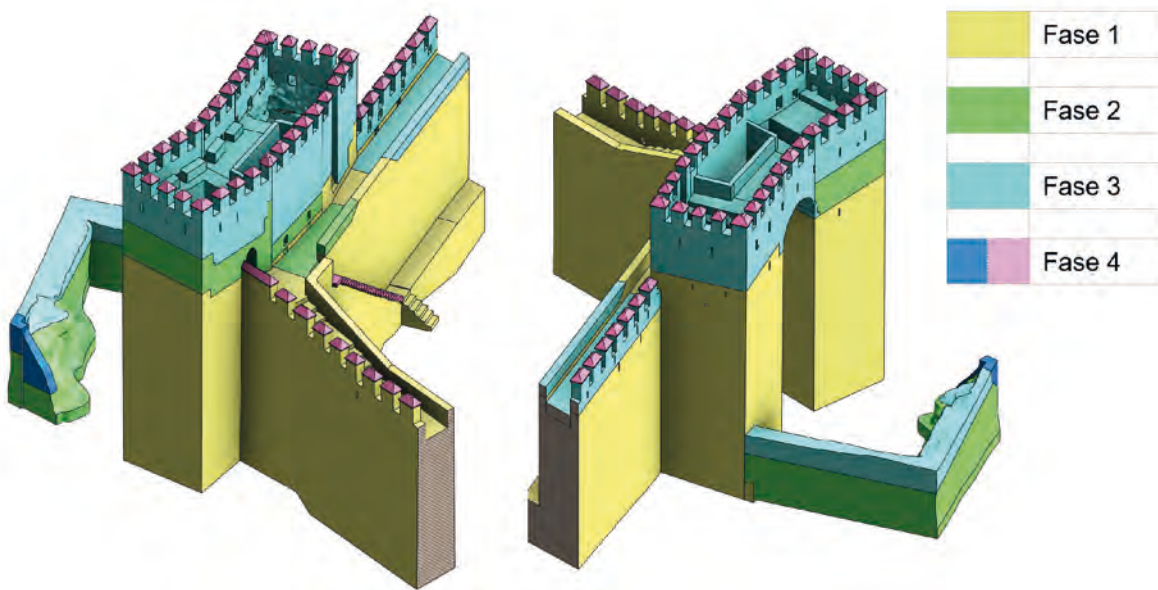


Figura 7. Visualización del estado actual tematizado por fases históricas.

El proceso de importación engloba necesariamente la identificación de cada entidad dentro de alguna de las categorías disponibles en el programa de modelado, formalizando desde el inicio una estructura de relaciones que, además de codificar adecuadamente la ontología del modelo conceptual definido, satisfaga los requerimientos de operatividad del modelo de información: visualización, tematización, filtrado, gestión de datos, volcado, etc.

La introducción efectiva de los distintos conceptos de la estructura de información en el modelo se ha llevado a cabo mediante la creación de parámetros personalizados vinculados a cada elemento de modelo HBIM. Dichos parámetros se han incluido dentro de una lista llamada de parámetros compartidos registrada en un archivo de texto susceptible de ser vinculable a cualquier otro modelo. Se han asignado los parámetros requeridos en base a tres niveles de desarrollo contenidos en el modelo HBIM, dos basados en la entidad sólida completa en dos niveles de detalle —diferenciados de cara a variaciones de escala en representaciones gráficas— y otro a partir de las entidades despiezadas. Estos niveles de desarrollo pueden considerarse, a los efectos del uso patrimonial del BIM, como Niveles de Conocimiento (LOK, *Levels Of Knowledge*) (Castellano y Pinto 2019).

Esta estructura de la información permite, en el entorno BIM, los filtrados gráficos de infor-

mación o consultas gráficas tematizadas en combinación con herramientas de configuración de las vistas en las cuales son representadas. De esta manera, la visualización intencionada desde determinados puntos de vista —si consideramos perspectivas axonométricas o cónicas— o utilizando proyecciones diédricas, permiten la contemplación de las relaciones entre elementos y su información asociada desde nuevos enfoques difíciles de alcanzar sin contar con esta herramienta. La combinación de varias proyecciones tematizadas a partir de los parámetros “ID fase de creación” e “ID fase de demolición” permite generar en este caso una visualización pormenorizada de la evolución histórica del ámbito de estudio.

Etapas 3 – Generación de repositorio asociado al modelo (HBIR)

La gestión eficiente de la documentación asociada a un bien cultural constituye una de las bases fundamentales de la gestión sostenible de su tutela, ya que la información que ésta proporciona sustenta las acciones es necesario desarrollar. Un repositorio asociado al modelo, que denominamos HBIR (*Heritage Building Information Repository*) ofrece la oportunidad de reunir la documentación conocida sobre este y ponerla en disposición para el futuro, tanto para sus gestores como para los investigadores y la ciudadanía en general. El repositorio actúa

como un entorno común de datos para todos los agentes relacionados con la tutela del bien y se caracteriza por su vocación de exhaustividad, su soporte digital, su permanente crecimiento por adición de nuevos registros y su gestión a través de los nuevos sistemas digitales de gestión de la información.

La estructura se corresponde con las áreas comúnmente aceptadas para la gestión de la tutela patrimonial: identificación, investigación, protección, conservación y difusión, incorporando además una sección para la gestión de fuentes.

Los esfuerzos iniciales invertidos en este objetivo proporcionarán, una vez consolidados, una fuente de información rigurosa y accesible que evite fundar desde cero cualquier aproximación al Castillo de Cumbres Mayores.

CONCLUSIONES

Esta aportación muestra los avances en la aplicación de recursos, metodologías, técnicas y herramientas HBIM en los procesos de tutela patrimonial de un edificio concreto. En este caso se han mostrado los resultados del modelado mediante la convergencia del análisis arqueológico y arquitectónico, permitiendo caracterizar las etapas fundamentales de su evolución constructiva, aportando algunas claves de cómo se ha diseñado la estructuración de la información resultado de su conocimiento y la parametrización de estos en un entorno BIM. Los resultados gráficos muestran la versatilidad de estos modelos para aproximar el conocimiento al colectivo investigador, a los responsables de su gestión, y al público en general.

LISTA DE REFERENCIAS

- Castellano Román, Manuel y Pinto Puerto, Francisco Sebastián. 2019. «Dimensions and Levels of Knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: the model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)». *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 14: e00110.
- Collantes de Terán Delorme, Francisco. 1953. «Los castillos del reino de Sevilla». *Archivo Hispalense* 58-59: 117-185.
- Casquete de Prado Sagrera, Nuria. 1993. *Los castillos de la Sierra Norte de Sevilla en la Baja Edad Media. Aproximación Histórica*. Sevilla: Diputación de Sevilla.

- Morales Martínez, Alfredo José. 1976. *Arquitectura medieval en la Sierra de Aracena*. Sevilla: Diputación de Sevilla.
- Rivera Jiménez, Timoteo, Romero Bomba, Eduardo y Jiménez Aguilar, Inmaculada 2015. «El castillo de Cala (Huelva): nuevos datos sobre su cronología y la evolución constructiva de las edificaciones bajomedievales de la Sierra de Huelva». En Medina Rosales, Nieves (coord.) *VII Encuentro de Arqueología del Suroeste Peninsular. Aroche-Serpa, 29, 30 de noviembre, y de diciembre de 2013*, pp. 1145-1159. Aroche: Ayuntamiento de Aroche.
- Romero Bomba, Eduardo. 2002. «Análisis arqueológico del Castillo de Cumbres Mayores (Huelva)». *Anuario arqueológico de Andalucía 1999*, Vol. 3, Tomo 1, pp. 366-372. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.
- Romero Bomba, Eduardo. 2003. «Análisis arqueológico del Castillo de Cumbres Mayores (Huelva)». *Arqueología Medieval* 8: 57-67.
- Valor Piechotta, Magdalena y Casquete de Prado Sagrera, Nuria. 1994. «El Castillo de Cumbres Mayores (Huelva). Una aproximación a la arquitectura militar de la segunda mitad del siglo XIII». *Historia, Instituciones, Documentos* 21: 473-499.