

IMPLEMENTATION OF HBIM IN ARCHITECTURAL HERITAGE. STUDY OF THE CASE OF THE CHURCH OF LA SANG OF LLÍRIA

IMPLEMENTACIÓN DE HBIM EN PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. ESTUDIO DEL CASO DE LA IGLESIA DE LA SANG DE LLÍRIA

Sergio Moral Saiz^a, Inmaculada Oliver-Faubel^b, Isabel Jordán Palomar^c

^a Departamento IT/Mercadona, España. semoral@mercadona.es

^b Departamento Construcciones Arquitectónicas, Universitat Politècnica de València, España, inolfau@csa.upv.es

^c Claustro del Master BIM UPV, Universitat Politècnica de València, España, isabeljordanar@outlook.es

Abstract

BIM technology is gaining ground in different disciplines outside new construction. This is the case of architectural surveys of heritage buildings, a methodology known as HBIM (Historic Building Information Modeling). With this tool, which facilitates the architectural survey, an information model of the property is obtained with less error and greater accuracy than with conventional technologies. With the high degree of information that this methodology allows, the different historical phases of the church of La Sang of Lliria, of which there are no three-dimensional graphic representations to date, are modelled. A point cloud obtained with a laser scanner is used as a base. The intention is to involve the use of BIM tools in the dating and representation of historical phases of the property, to expose its advantages in obtaining simulations of the phases, to date them within a specific period and to relate the information.

Keywords: History; Laser Scanner; BIM; Photogrammetry; Archicad; Survey.

Resumen

La tecnología BIM gana terreno en diferentes disciplinas ajenas a la obra nueva. Es el caso de los levantamientos arquitectónicos de edificios patrimoniales, metodología conocida como HBIM (Historic Building Information Modeling). Con esta herramienta, que facilita el levantamiento arquitectónico, se obtiene un modelo de información del bien con menor error y mayor exactitud que el realizado con tecnologías convencionales. Con el elevado grado de información que permite esta metodología, se realiza el modelado de diferentes fases históricas de la iglesia de La Sang de Lliria de la que no existen representaciones gráficas tridimensionales hasta la fecha. Se utiliza como base una nube de puntos obtenida con escáner láser. La intención es involucrar el uso de herramientas BIM en la datación y representación de fases históricas del bien, exponer sus ventajas en la obtención de simulaciones de las fases, datarlas dentro de un periodo concreto y relacionar la información.

Palabras clave: Historia; Escáner Láser; BIM; Fotogrametría; Archicad; Levantamiento.

1. INTRODUCTION

1.1 THE CHURCH OF LA SANG

In order to understand the choice of the church of La Sang as a representative and suitable case study for this research, it is worth contextualizing its historical and social importance in the municipality of Lliria.

Lliria has a surface area of 228 km² and a population of approximately 23,250 inhabitants. It is located in the province of Valencia (Spain), specifically in the region of Camp de Túria, site of the ancient Iberian city of Edeta. The first records of occupation date back to the Bronze Age, making it the first place in the Camp de Túria region to be occupied.

After the Muslim conquest of the territory, a castle surrounded by walls was built in the area where the Church of La Sang stands today. The Muslims rebuilt the old space where the Roman nucleus was located and an Arab mosque was

built, possibly on the remains of a Roman temple, although it is not known with certainty.

Cid Campeador besieged the city on two occasions: in 1090 and in 1092, when it was definitively conquered, just two years before the conquest of Valencia. In 1102 it was reclaimed by the Almoravid general Mezdalí, but in 1238 it was reconquered by Jaime I and in 1240 it was declared a Christian city, entering the socio-cultural era of the Middle Ages.

Following the reconquest by Jaime I, a distribution of land and subsequent repopulation by Christians took place. The new settlers reused and transformed the Muslim spaces, as was the case of the old Great Mosque, which was converted into a new Christian church: the Church of Santa María or Church of La Sang.

The property underwent various alterations over the years, including the addition of side chapels, cornices, finials, decorative elements, etc. Some of its parts even had to be rebuilt, such as the northeast facade, which collapsed in 1954.



Fig. 1. Main facade of the Church of La Sang in Lliria (Source: Moral, Sergio).

The succession of eras also entails the adaptation of the representative elements and spaces of each one with respect to the next, which can lead to the loss of historical information and at the same time the generation of new representative heritage, such as the churches of conquest, of which one of the best preserved examples is the Church of La Sang, recognized as an Asset of Cultural Interest by virtue of the First Additional Provision of Law 16/1985 of 25 June 1985 on Spanish Historical Heritage, in accordance with the First Additional Provision of Law 4/1998 of 11 June 1998 of the Generalitat Valenciana on Valencian Cultural Heritage.

Therefore, in addition to being located on the site of the old Great Mosque of Lliria, the course of history has meant that the property itself has undergone physical and volumetric changes, and different historical phases can be interpreted. This fact makes the church of La Sang of Lliria an ideal Asset of Cultural Interest for carrying out an HBIM survey, obtaining three-dimensional simulations of previous historical phases and extracting conclusive results.

The motivation for carrying out this HBIM survey is the consideration of La Sang as a significant and representative building in its classification, as mentioned above, as well as the proximity and willingness of the parish and the Brotherhood of La Sang de Lliria to digitize their historical monuments.

There are different works and publications on the church of La Sang, such as the publication by Primo García (1997) "Restauración de la iglesia de la Sangre en Lliria (Valencia)", which describes, among other cases, the restoration work carried out on the church in 1993, the study by the academic Zaragoza Catalán (2004) "Arquitectura gótica valenciana" in which he describes the model of the reconquest church established in La Sang of Lliria.

1.2 ANNOUNCEMENT OF HERITAGE PROTECTION OF LA SANG

The church of La Sang was declared a National Monument by Royal Order dated 29th September 1919 (G. 05.10.1919) with Register No. D140M, and was published in La Gaceta de Madrid on 5th October of the same year, being the first religious building in the Valencian Community to receive such a distinction.

The file for the delimitation of the protected environment and protection regulations of the Church of La Sang was opened by Resolution of 16 July 1999 by the Directorate General for Artistic Heritage of the Department of Culture and Education. Registration number R-I-51-0000165.

1.3 HBIM

The subject of this article is HBIM. It is therefore pertinent at this point to explain the term:

"Heritage Building Information Modelling", or HBIM as abbreviation, is a methodology based on the eminent use of BIM technology focused on historic buildings, heritage buildings or protected properties of cultural or historic interest. The term has also been used as Historic Building Information Modelling (Murphy et al., 2009).

1.4 TRANSITION FROM CAD TO BIM OF HERITAGE PROJECTS

The HBIM methodology, despite the great value it brings in terms of architectural surveying, is used very little, as opposed to surveying using CAD (Computer-Aided Design) tools, which continues to be used in the majority of cases today.

At the time, Computer-Aided drawing allowed the computerization of the results, obtaining more precise architectural surveys with a much lower level of error. However, CAD programs work with the information, but the survey data must be entered externally, and therefore measured externally. If the measurement method follows the traditional survey concept, the results in CAD will have the same cumulative error as in the classical Euclidean geometry method. To mitigate this, CAD software may require an external measurement system that offers greater accuracy, such as photogrammetry. All these concepts are described in "La fotogrametría digital en el levantamiento de planos de edificios" (Santa Cruz Astorqui, 2003).

Even using the photogrammetric method, and despite a very low level of error, the results obtained would not be sufficient to obtain simulations of previous historical phases of the property, due to the lack of information and the complex visualization of the property as indicated in "De la fotogrametría a la infografía" (Almagro, 2003).

2. STATE OF THE ART

While HBIM methodology does not yet enjoy widespread use within heritage projects as indicated by F. Chiabrando et al. (2016) in their article “Historical buildings models and their handling via 3d survey: from points clouds to user-oriented HBIM”:

The future of 3D model is the real-time handling and the direct upgrading of information into the HBIM database, but experiences of BIM approach for Heritage documentation and conservation are still not very developed, rather than in new buildings design ones.

Also, Jordán-Palomar et al. (2018) who show the slow development of this methodology in heritage:

However, these applications do not contemplate the historical and cultural legacy of the buildings and sites stated that BIM implementation in existing buildings is scarce.

Martín Talaverano, Murillo Fragero, and Utrero Agudo (2021) expose in their article “Reflexiones y criterios relativos a la creación de modelos BIM de edificios históricos” the incorporation of archaeology in these historical studies:

El sistema de información del modelo HBIM debería articularse [...] en torno a la secuencia, que se ajusta con rigor a la naturaleza del edificio histórico y permite vincular los datos de un modo coherente y lógico. Su identificación es posible gracias a la aplicación de la metodología de la Arqueología de la Arquitectura la cual determina rigurosamente las distintas fases y transformaciones que configuran la realidad evolutiva del edificio.

However, certain historical projects that meet complex needs are beginning to become visible thanks to this methodology. One example is the restoration project of the Basilica di Collemaggio in L’Aquila (Italy) after the earthquake that severely damaged the building in 2009. From the photogrammetric and laser scanning study, a modeling was made to create a detailed BIM heritage project to manage the phases of analysis, simulation of structural behavior, economic evaluation of the project and final restoration.

Another example is that of the model of the Charterhouse of Jerez (Cadiz, Spain), whose contribution by Castellano-Román and Pinto-Puerto (2019) captures the levels of knowledge of heritage buildings as a result of BIM modeling in their article “HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez (Cadiz, Spain)”:

The comprehensive heritage interpretation of the Charterhouse of Jerez has enabled a classification of the areas of the monastery according to their potential to produce significant data refusing, completing or inspiring new research.

Other examples of HBIM in Spain are the Chapel of the Sagrado Corazón of the Cathedral of Palma (Mallorca) or the Cloister of the Cathedral of Pamplona as indicated in the “BIM Users Guide. Document 14” (Building Smart Spain, 2018).

Regarding the HBIM modeling methodology, different contributions to the state of the art can be highlighted, such as the work of Samper and Herrera (2014) “Análisis fractal de las catedrales góticas españolas” or the publication of López González and García-Valldecabres (2019) “Parametric Processes in Implementing H-BIM on Historical Architecture”.

From HBIM projects it is common to extract benefits focused on the future, such as conservation plans, construction control during renovations or the generation of repositories with the possibility to perform customized searches and compare results. In most HBIM projects, laser scanning is used as a data acquisition tool.

2.1 LASER SCANNER

The measurement tool used in the HBIM methodology to solve the problems mentioned in point 1.3 is the laser scanner.

At the forefront of this tool is the Visual Inertial System technology, or by its acronym: VIS.

It is a technology developed by Bernhard Metzler, director of the Hexagon Technology Center. In an article on the Leica Geosystems website, the functionality of the VIS technology is elaborated:

In principle, Visual SLAM is nothing more than a repetitive application of resection and forward-intersection with an optional bundle-adjustment at the very end. These basic algorithms are well known from photogrammetry for more than a century [...].

During the movement between the different stationing, a position tracking is performed between successive image frames.

In a continuous process, the 3D coordinates of different objects and elements of the building are calculated and tracked from two or more positions to determine the next position.

2.2 HISTORICAL DATABASES WITH HBIM

With the HBIM methodology, a database of the historic property is generated from the point cloud. The point cloud is the link between the physical data obtained from the building and the digital model of the building. The modeling of the current state is done using the point cloud as a support by overlapping elements on it. The model is fed with both the information that can be covered by the point cloud (metric and colorimetric information) and the information that cannot (material characteristics, measurements, element identification, etc.). One of the main studies conducted on BIM databases is “Cloud-based BIM data transmission: current status and challenges” (Kereshmeh, 2016).

The model can provide visualizations of different historical phases, make instant comparisons between them and, to a greater or lesser extent, be of great use for more detailed archaeological or historical investigations of the property itself (Guide to BIM Implementation Plan Development, 2017):

The information model constitutes a single source of coherent information that ensures the transfer of information [...] up to the maintenance phase.

2.3 HISTORICAL DATING WITH HBIM

In very few cases the HBIM methodology has been implemented from an approach focused on the investigation of past historical phases due to its difficulty (Benavides J.A., 2017):

También presenta una mayor dificultad a la hora de obtener cronologías, ya que del examen superficial [...] es difícil encontrar artefactos que den una clara adscripción cronológica relativa, y los métodos absolutos son todavía bastante costosos.

There are examples such as the BIM project of the Church of Santiago de Peñalba in Ponferrada (León), in which a BIM model was created based on the evolutionary sequence of the building and its historical stages. However, it is striking that none of the HBIM projects uses the previous historical phases as the axis. That is, they are not modeled, but used to extract information for the current survey. Hence the question arises: To what extent is it feasible to exploit the HBIM potential by obtaining simulations of previous historical phases in a heritage building?

As a result of the question generated, we searched for references on simulations of previous

historical phases of heritage buildings, but what we found were, to a greater extent, virtual reconstructions. Of all these reconstructions, the majority were two-dimensional documents generated using image editing programs, and in the cases of three-dimensional documents, the BIM information management was not found within the models, but rather they were documents generated with specific non-BIM modeling programs.

In the HBIM projects carried out to date, very complete repositories of information have been obtained. Sometimes it has been possible to obtain data from the historic property with a much greater amount of information than could be obtained from other documents independently, as is the case with the point cloud scanning of Notre Dame Cathedral by historian Andrew Tallon (Dollard, 2019):

Capturing the reality of Notre Dame reveals the ways in which the structure has changed over time [...]. And the data obtained with the laser scanners offers far more precise measurements than any drawing, modern or historical, ever could.

With such a large amount of information on the property, it is possible to carry out simulations of previous historical phases of the property. For these phases, either not much information is available, or obtaining this level of information would be much more costly and lacking in dimensional rigor than using traditional methods of obtaining information.

The basis of the HBIM model lies in dating; models of a heritage building must be located within a specific period. (Conti, 2020):

Other information includes all historic data useful to reconstruct phases and interventions, like archival or printed sources, images and also oral history [...] shows an application of an eighteenth-century infrastructure, which was lacking of any reliable documentation until now. The potential of HBIM methodology has been exploited by modelling the current phase using data coming from an integrated 3D survey.

In conclusion, according to the information presented above, the extraction of information from the model located within a historical period must be agile and the information extracted must be accurate and reliable.

3. OBJECTIVES

The main objectives of the project are:

- To date the architectural phases of the church of La Sang of Lliria (Valencia) with HBIM methodology. The aim is to date each phase within a specific chronological period in order to obtain simulations and three-dimensional reconstructions of the historical phases of the property.
- To compare the dating of architectural phases with HBIM methodology with the dating that is currently available and that was documented, at the time, by means of traditional architectural survey methodology.
- To present the possibilities and benefits of obtaining the different historical phases of the property in terms of dating, documentation and visualization of the information model through different epochs.

4. HBIM MODELING METHODOLOGY OF HISTORICAL PHASES

The methodological flow developed specifically for this project is as follows:

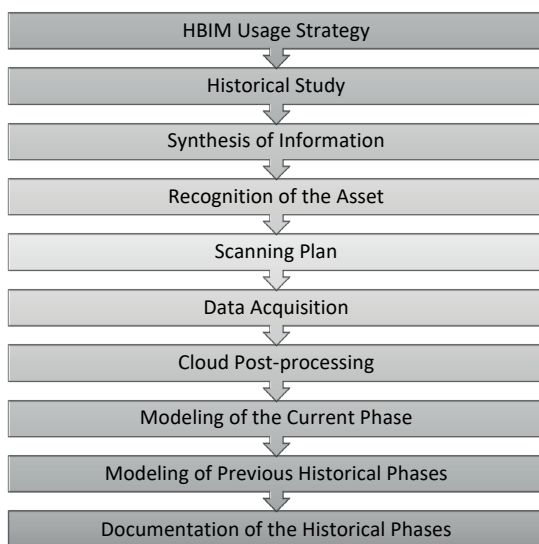


Fig. 2. Proposed methodological flow (Source: authors).

- Strategy of HBIM uses and possibilities of the HBIM model for dating. The HBIM uses would be fundamental to focus the BEP, that is, the BIM Execution Plan, a document where the necessary requirements are gathered in order to carry out a project using BIM methodology.
- Prior study of the data consulted on the heritage property, which is essential to know the asset

of cultural interest, contextualize it within a historical framework and understand its socio-cultural importance. In historical assets far from large cities it is sometimes difficult to find digitized information, so it is advisable to go to the municipality itself to make inquiries in historical archives, libraries or municipal museums. It is advisable, in turn, to collect as much information as possible in a specific repository, since it may be information that can be consulted during the development of the project. The collection of data ranges from visual documents (plans, pictures, drawings) to historical records that can provide any type of information about the building (property registers, descriptions of different periods, events that took place in the area...).

- Synthesis of organized and codified information.
- Physical recognition of the property, physically going to its location. This organoleptic analysis of the property can be complemented with a photographic report of both the exterior and the interior, which, although it does not provide as much information as the data obtained from a laser scan, can be used to obtain visual information easily.
- Preparation of the stationing plan, which is essential when carrying out a laser scanning project. A coherent stationing plan improves the scanning agility, avoids errors and returns to the site of the asset due to lack of information.
- Data acquisition by point cloud using the laser scanner to document the existing phase.
- Post-processing of the point cloud, consisting of the adjustment between the different stationing, the percentage of overlapping and the cleaning of unwanted elements. Once the data has been processed, it can be imported into the BIM software for the modeling of the historical phases.
- Modeling of the current phase on the processed point cloud. If done correctly, this is the most accurate geometrical data available for the asset.
- Modeling of the previous historical phases, using as reference the point cloud, the current state and the information collected during the research phase such as the plans of the church, pictures prior to the last renovations or historical written records detailing the

constructive changes of the church. The modeling is a complex process due to the fact that there is a great deal of missing information from previous historical phases, so that, to a greater or lesser extent, the information obtained is susceptible to interpretation, always based on the current remains, elements reused throughout history or even pathologies. For example, the interpretation of marks on the facade allows us to contrast the dimensions of the buttresses, which were not embedded in previous phases, and are therefore modeled with this information. With the different modeled phases, a documentary archive is obtained, a repository of a multitude of information, including the architectural survey of the asset.

- Documentation of the historical phases and arrangement of the consultation of the same through visualization parameters. The same element may have gone through different historical phases and undergone modifications. The visualization parameters allow to consult the changes of the elements according to the historical phase.

5. RESULT: APPLICATION OF THE METHODOLOGY TO THE CASE STUDY OF THE CHURCH OF LA SANG

Using the above methodology, the following results have been obtained:

Methodology step	Result obtained
<ul style="list-style-type: none"> • HBIM Uses Strategy • Historical Study • Synthesis of information • Recognition of the property • Scanning plan • Data acquisition • Post-processing 	Point cloud (section 5.1)
<ul style="list-style-type: none"> • Modeling of the current phase 	HBIM model current state of the Church of La Sang (section 5.2)
<ul style="list-style-type: none"> • Modeling of previous historical phases 	HBIM model representation of the historical phases of the church of La Sang (section 5.3)
<ul style="list-style-type: none"> • Documentation of historical phases 	Linking historical information to the HBIM model (section 5.4)

Fig. 3. Table of results obtained (Source: authors).

5.1 POINT CLOUD: DATA COLLECTION OF HISTORICAL-CONSTRUCTION PHASES

Once the importance of the case study was understood, as well as its appropriate characteristics for the project, the specific methodological flow began, which starts with the previous study of the data. For this purpose, the Municipal Public Library l'Almodí of Lliria was visited, in search of the referenced works of local authors and experts in the subject such as J. Antoni Llibrer author of "La iglesia de Santa María o de La Sang" (2011) and "El finestral gòtic: L'església i el poble de Lliria als segles medievals" (2003), as well as historical chronologies and sources of documentation on the city of Lliria. In addition to the documentary study, we went to the MALL (Museu Arqueològic de Lliria) to gather information about assets related to La Sang in its medieval period, such as several pieces of the altarpiece that are preserved, friezes, moldings or different objects found after the restoration works.

Throughout the data study phase, several conferences on the church of La Sang of Lliria were attended, such as "La torre de l'església de La Sang" or "Iconografía i heràldica del teginat de l'església de La Sang".

After several months of study and numerous visits to the property in which various photographic reports of the exterior, interior and representative elements were made, the data collection phase began with the scanning by point cloud.

Stationing plan was carried out, taking into account different factors:

- Number of stationing places.
- Area to be covered.
- Minimization of shadows per zone.
- Scanning quality and time.

Data collection by scanning lasted one day and the equipment used was a Leica RTC 360 scanner. The characteristics of the equipment are detailed in Fig. 4.

Scanning time:	90 seconds
Average dots:	12mm/pt. at 14 m
Size:	120x240x230mm
Weight:	5.35kg
360° Camera:	Incorporated.

Fig. 4. Average data per scan at medium quality (Source: Leica Geosystems website).

Data collection began by performing a circular sweep of the exterior of the church in a counterclockwise direction, following the stationing plan, starting from the main facade and performing the first stationing on a surface with the greatest possible flatness.

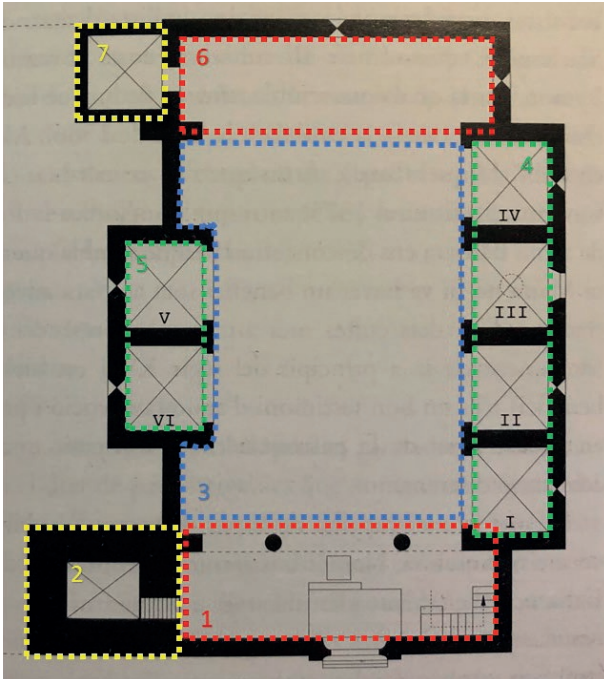


Fig. 5. Indoor stationing plan. (Source: Moral, Sergio).

One of the captures was made by placing the scanner on the threshold of the gate. This will serve as a link between the exterior and interior point clouds. This location of the scanner provides both an exterior and interior point cloud. Stations were made at various central points of the nave, the entrance to the side chapels and various points in front of the altarpiece, all according to the stationing plan in Fig. 5. Once the data collection on the main floor was completed, we went up to a second level to obtain elevated stations and obtain a better definition of the coffered ceiling and the roof.



Fig. 6. Exterior scan of the church of La Sang. (Source: Moral, Sergio).

Once the data were collected and following the methodological process, the data obtained were processed. The software used to process the point cloud was Cyclone Register 360 provided by Leica, the equipment manufacturer.

For the correct processing of the point cloud, the relevant visual checks were carried out to ensure the correct import of the points, both in the plan view of the scan and in the three-dimensional views from each station. After the checks, the second step to be carried out was the link between the clouds and their optimization. For this purpose, a visual alignment was performed, both in plan and elevation views, overlapping as perfectly as possible the links and common points between the different clouds. After the linking process, the optimization allows to reduce the error rate and to increase the robustness of the total cloud automatically.

The last process was the export of the data. An.E57 format, LIDAR POINT CLOUD DATA format, was chosen. This is a 3D image file valid for data integration and modeling software.

The point cloud information file was imported from Archicad 20 BIM software. The final result of the point cloud corresponds to Fig. 7.



Fig. 7. Point cloud of the Church of La Sang (Source: Moral, Sergio).

5.2 MODELING OF THE CURRENT STATE OF LA SANG PHASES

In any project carried out using BIM methodology or technology, the definition and management of information is crucial. In this line, the modeling project was started by introducing all the relevant information at the beginning: management of

the units, project location (coordinates, altitude, orientation, physical direction), project levels, and especially the project phases. These are the ones that, later on, allowed to manage the visualization between the different phases.

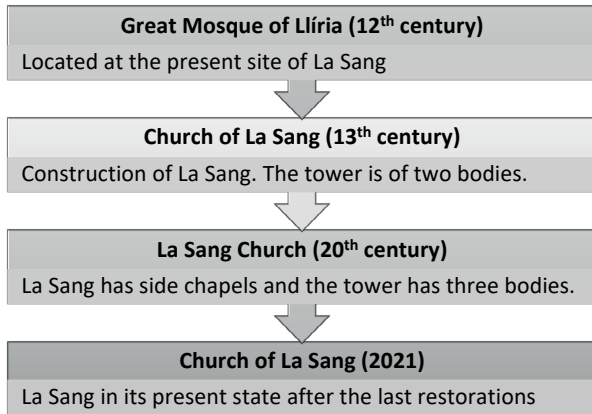


Fig. 8. Chronological scheme of the phases of La Sang. (Source: authors).

Once the initial data were defined, the modeling of the property began. Specifically, we started with the terrain in order to start with a fixed element. The level of development of the model at the beginning would be LOD200 (Level of Development 200). The reason for not starting with a LOD100 is because, at this initial development level, the project is presented graphically and not necessarily geometrically. This is the way to start a project in BIM when no initial information is available, but in the case of HBIM there are two aspects that differ from conventional projects:

- The project was already built and is existing in a real space, not having to define neither its position nor its volumetry graphically.
- A point cloud is used to determine the volume and exact geometric position (error of 0.002 m) of each of the elements. This point cloud is used for direct modeling.

Therefore, the modeling was started on a LOD200. In this modeling phase, each of the elements was placed in its approximate position at a conceptual level and with a representative geometry.

Once the LOD200 model was obtained, geometric and volumetric information continued to be added in the LOD300. In this phase, the size and precise position of each of the elements was defined.

Many of the modeled elements of this current phase were interpreted and used to obtain earlier phases of the property in a coherent



Fig. 9. HBIM modeling of the current phase of La Sang. Picture, point cloud and BIM model (Source: Moral, Sergio).

manner. Remains, vestiges and elements of other historical phases existing at the present time were modeled. This allowed for more accurate modeling of earlier phases for which not as much information is obtained as in the current state. An example of this is the modeling of the cistern, an element currently present on the exterior of the church and which, in the past, was located under the sahn or courtyard of the Great Mosque.

Once the position of all the elements was defined, the links and interferences between them were established, avoiding space conflicts. This is a necessary step in the specific case of the

project, since in the future it could be intended to extract material or volumetric measurements for possible restoration works using the information of the current phase model. Once the model of the current phase was obtained, it was possible to extract graphic documentation, such as the elevation in Fig. 10.



Fig. 10. South elevation of the current phase of La Sang. (Source: Moral, Sergio).

Finally, the definition of materials in the model was performed. The inclusion of materials changed the appearance of the elements (Fig. 11). This did not only involve the application of textures on the vector elements, but also, and fundamentally, the addition of the characteristic information of the material as such, that is, the physical properties of density, thermal conductivity or heat capacity. In this project, and due to the impossibility of performing higher level tests or surveys on the building, representative average values were chosen for all the materials in the model.



Fig. 11. BIM model of the church of La Sang (Source: Moral, Sergio).

5.3 MODELING OF HISTORICAL-CONSTRUCTIVE PHASES OF LA SANG

After modeling the current state of the church of La Sang, a previous phase was modeled. With both phases modeled, we proceeded to interpret the data and perform a hypothetical modeling, not only of an even older phase, but also of a completely different type of construction, such as a mosque.

The historical phases are as follows:

- The church of La Sang in its present state.
- The church of La Sang in the 20th century.
- The church of La Sang during the 13th century.
- The Great Mosque of Llíria during the 12th century, a construction prior to the church of La Sang, from which structural elements were taken advantage of.



Fig. 12. Model of the church of La Sang in its current state (2021). View of the remains of the cistern. (Source: Moral, Sergio).

Starting from the modeling of the current state, the modeling of the original church, originally called Santa Maria church, was carried out. The modeling was based on everything published about La Sang and that had been consulted in previous phases of the project: publications, chronicles or the reconstruction plans of the original floor plan of La Sang made by J.L. Castelló and J.A. Llibrer. Due to the compilation and synthesis of all the information, and to the recreated research process, it has been possible to carry out a survey and modeling of the church of La Sang during the 13th century just after its complete construction of the floor plan.

In the three-dimensional model of the 13th century (Fig. 13), significant differences with respect to the current state were detected:

- The tower. The second body of the tower was built at least a century after the construction of the church.
- The side chapels. The chapels were enlarged on both sides of the nave between the 14th and 15th centuries.
- The door on the southeast facade. This was the main entrance to the church, which was displaced with the creation of the chapels
- The main entrance door was built in the 15th century.
- The buttresses that are represented in the 13th century were embedded with the creation of the chapels.



Fig. 13. Model of the church of La Sang during the 13th century. View of the main facade (Source: Moral, Sergio).

Once the state of La Sang was modeled in the 13th century, we moved on to the modeling of the Great Mosque of Lliria, a building that was located on the current site of La Sang. From it, different structural elements were used at the time to begin the 12th century floor plan after the demolition of the mosque. The modeling of the mosque was undoubtedly the most complex historical phase to model due to the little existing information about the building. Currently only the cistern of the mosque and the well are preserved (Fig. 12), which allowed us to get an approximate idea of the plan of the mosque, and some structural elements are also preserved, the two columns that currently support the choir of La Sang. They allowed us to get an approximate idea of the height of the building, theorizing about the total height with arches and roof. Remains of the mosque are also preserved in the walls of La Sang, especially on the northwest facade. It is more than likely that this current wall coincided with the passage wall between the sahn, or

courtyard of the mosque where the purification of the faithful took place, and the hypostyle room or inner room.

Following the information obtained from publications such as “El finestral gòtic. L’església i el poble de Lliria als segles medievals” or “Historia de Lliria, Geografía y Arte”, to the theories about the layout of the floor plan (Martínez et al., 2005) and to the obtaining of the modeling of the subsequent phases carried out during the present project, it was possible to make a three-dimensional representation of what was the Great Mosque of Lliria (Fig. 14) in which different representative elements can be observed:

- The Quibla. This is the name given to the wall of the mosque facing Mecca. In the construction of La Sang, this orientation was intentionally broken.
- The Haram. It is the main prayer hall, in it are the pillars of the Mosque, two of which are preserved and used to support the choir of La Sang.
- The Sahn and the cistern. They are the best-preserved remains of the Great Mosque today. In the cistern water was accumulated and extracted through a well to the outer courtyard, where the faithful were purified.
- The minaret or tower of the mosque. This element was not modeled due to the inexistence of contrastable data to establish its exact location or even to affirm if it existed.
- The access wall to the mosque. If we superimpose the models of the Great Mosque and La Sang in the 13th century, we can see how, indeed, the access facade of the mosque was used structurally for the northeast facade in the construction of La Sang (Fig. 15).



Fig. 14. Interpretation of the Great Mosque of Lliria. (Source: Moral, Sergio).

The mosque floor plan, like the 3D modeling, is a hypothetical representation based on the remains, historical research on hypostyle mosques in Spain and the possible relationships between the constructive elements shared between the different buildings throughout history.

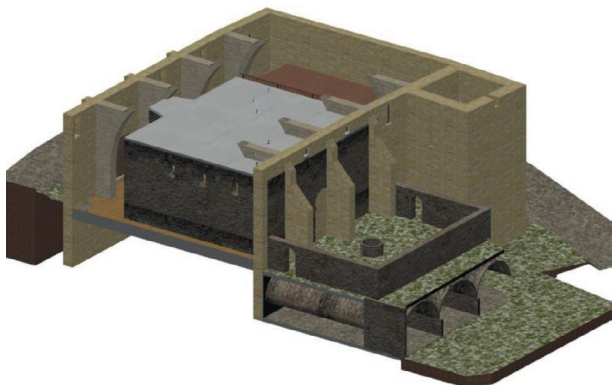


Fig. 15. Superposition of the Church of La Sang in 13th century with the Great Mosque (Source: Moral, Sergio).

However, it is the first existing information model on the Great Mosque of Llíria, from which to extract three-dimensional simulations that show how the past of La Sang could have been, allowing an approach to the Muslim past of the city. The repository of information can be used for possible specialized research on La Sang, as well as serving as a guide in possible archaeological surveys, since the model, obtained from the point cloud, represents the simulation of La Sang with greater spatial and volumetric accuracy.

5.4 LINKING AND OBTAINING INFORMATION FROM THE HBIM MODEL

A documentary archive was obtained, containing information on the property both in its current state and in different historical phases. In that document it is possible to consult the information of all the phases in different manners:

- 2D views.
- 3D views.
- Data tables.
- Realistic infographics.

With 2D views, traditional, dimensioned and measurable drawings are obtained. The elements of the plans are logically linked to the 3D elements. Starting from the point cloud, we obtain plans fully adapted to the real geometric measurements of the property, thus being able to check the real size and orientation of each element.

As for the 3D views, modeled on the point cloud, they offer a perspective from every possible angle of the church of La Sang, being able to distinguish each of the position of the elements, as well as their materials and physical characteristics. Within the 3D views it is possible to navigate to access visualizations that would not be possible otherwise. In addition, the correct definition of the historical phases and of the elements in each of them allows to switch between the different states of the property. They can be analyzed independently, or by obtaining a simultaneous visualization of different phases. This makes it possible to make a direct comparison showing the structural and volumetric changes that the property has undergone over time.

On the other hand, the table views allow to visualize and manage the information contained in the model in a direct and more detailed way. An example of these tables is shown in Fig. 16. An accounting of the elements of the model can be performed, as well as total summations of units of measurement. Otherwise, it would be very costly to obtain manual measurements on the model.

Lista General de Elementos

Elemento	Piso	Id de usuario	Ancho	Espesor	Altura
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,70 m		3,37 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,70 m		8,61 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,76 m		0,42 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,76 m		3,77 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,65 m		0,83 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,65 m		3,67 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,27 m		0,33 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,27 m		0,60 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,27 m		1,31 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,30 m		1,43 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		3,31 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		8,92 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		9,21 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		2,97 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		8,92 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		9,21 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		5,09 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		8,92 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		9,21 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		1,75 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		1,75 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		1,75 m
B ALJIBE	1	Muros Exter...	0,50 m		4,61 m

Fig. 16. Measurement table of construction elements (Source: Moral, Sergio).

Infographics are not strictly a type of view of the documentary archive, but they are a type of view that can be easily extracted from the archive itself. With infographics, non-vector images of a specific perspective of the project are obtained, such as the one in Fig. 17. This facilitates the visualization for any type of professional or non-professional profile, showing the elements in a realistic and easily

interpretable way. Infographics can be obtained for each of the dated phases of the model, obtaining in this way representations of phases of which little information is obtained, even of complete buildings, such as the Great Mosque of Llíria. This type of infographics can be used in historical archives, museums, publications or exhibitions.



Fig. 17. Exterior rendering of La Sang (Source: Moral, Sergio).

6. COMPARISON OF HBIM AND CONVENTIONAL METHOD

Once the modeling of all the historical phases of La Sang has been carried out, and having obtained the documentary archive from which to extract information in an agile way from all these phases, it is worth making a comparative retrospective between the HBIM methodology and what it would have meant to carry out a survey using a conventional methodology, understanding by conventional methodology the use of simple measuring tools such as tape measures, or even laser distance meters of a single point per measurement. In this conventional methodology it would be essential to use auxiliary equipment or structures for work at height in order to take measurements, images and details of elements that are difficult to access. In addition, it would entail taking a very large number of photographs to be able to interpret each and every part of the church, both inside and outside. The level of error when transcribing the measurements to a CAD program would be higher, due to the constructive and technical complexity of this type of buildings. To all this, it should be added that, for the definition of elements and areas of difficult access, the survey should necessarily be complemented with decisions at the discretion of the designer, if neither the photographs nor the measurements could locate the elements in their exact points in the same way as it would be done with a point cloud.

7. CONCLUSIONS

7.1 CONTRIBUTION OF THIS PROJECT TO THE BODY OF KNOWLEDGE

It can be affirmed that this project has resulted in two main contributions:

- The generation of a methodology for modeling historical phases in HBIM, which represents a theoretical contribution.
- The realization of three-dimensional simulations of earlier phases of a case study using HBIM, of which there is currently no existence. This is a practical contribution.

7.2 CONCLUSIONS

It is also possible to say that a series of conclusions can be extracted from the project:

- The modeling of historical phases of buildings entails a previous study and analysis that requires the extensive collection of documentation in order to correctly represent the current state of the property, as well as a reproduction as close as possible to previous states.
- Modeling of historical phases in HBIM presents difficulties due to the complexity of property elements, building/structural systems and loss of information due to the time barrier.
- The combination of laser scanning techniques together with BIM modeling technology generates relevant historical dating information that would be impossible to obtain with a traditional survey.

The results show the potential and advantages over the current mainstream technology, just as the current mainstream technology and tools proved to be advantageous and effective over the previous traditional methodology.

In conclusion, it is to be expected that in the coming years Heritage BIM will be adapted in a natural and gradual way in the heritage and technological fields, based on the positive results and its great value contribution.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to give special thanks to the brotherhood of La Sang of Llíria for their interest in HBIM works.

REFERENCES

Afsari, K., Eastman, C. M., Shelden, D. R. 2016. Cloud-based BIM data transmission: current status and challenges. In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, vol. 33, p. 1). IAARC Publications.

Almagro, A. 2003. "De la fotogrametría a la infografía. Un proceso informatizado de documentación" *Informática y Arqueología medieval*, García Porras, A. Ed. Granada, 2003, pp.47–81. ISBN: 84-338-2960-2

Bonet, H., Marimón, J. 1984. "Excavaciones en la Iglesia de la Sangre de Lliria (Valencia)". I *Congreso de Arqueología Medieval Española: actas*, vol. 5, Tomo 5, 1986, p. 57-78. ISBN 84-505-4761-X

Building Smart Spain Chapter. 2018. "Guía de Usuarios BIM. BIM Aplicado al Patrimonio Cultural. Documento 14".

Catálogo de Bienes y Espacios Protegidos de Lliria, del Texto Refundido del PGOU, aprobado por la Comisión Territorial de Urbanismo en fecha 10 de abril de 2006 y publicado en el BOP 01-06-2006.

Castellano-Román, M., Pinto-Puerto, F. 2019. "HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)". *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W15, 285–290 <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-285-2019>

Chiabrando, F., Sammartano, G., Spanò A. 2016. "Historical buildings models and their handling via 3d survey: from points clouds to user-oriented HBIM". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B5, pp. 633–640. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-633-2016>

Civera-Marquino, A. 1989. *La techumbre gótico-mudéjar en la Iglesia de Santa María o de la Sangre de Lliria. Lliria, Valencia*. Ed. Ayuntamiento de Lliria. ISBN 84-505-8533-3

Conti, A., Fiorini, L., Massaro, R. et al. 2020. HBIM for the preservation of a historic infrastructure: the Carlo III bridge of the Carolino Aqueduct. *Appl Geomat.* <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00335-2>

Dollard, C. 2019. "Los escáneres láser de precisión de la Catedral de Notre Dame pueden ayudar a preservar, restaurar y reconstruir" <https://shop.leica-geosystems.com/es/es-ES/blog/precision-laser-scans-notre-dame-cathedral-can-help-preserve-restore-and-rebuild> [Retrieved on 05/06/2021].

Durán, J. 1995. *Perfiles. siluetas. glosas de mi tierra*. Lliria. Ed. Ayuntamiento de Lliria. P. 155-158. D.L. V-3882-1995.

Historic England 2017 BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information. Model. Swindon. Historic England. ISBN: 978-18-4802-487-8

Incoación del expediente de delimitación del entorno de protección y normativa de protección de la Iglesia de la Santísima Sangre, por Resolución de 16 de julio de 1999 de la Dirección General de Patrimonio Artístico de la Conselleria de Cultura y Educación. N° registro R-I-51-0000165. <https://ceice.gva.es/va/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics>

Jordán-Palomar, I., Tzortzopoulos, P., García-Valdecabres, J., Pellicer, E. 2018. "Protocol to manage heritage-building interventions using heritage building information modelling (HBIM)". *Sustainability*, vol. 10, no. 4, 908. ISSN 2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su10040908>

Llibrer, J. 2003. *El finestral gòtic: L'església i el poble de Lliria als segles medievals*. Lliria. Ed. Ayuntamiento de Lliria, p. 87-94 y 291-309. ISBN 84-922672-2-4

Llibrer, J. 2011. "La iglesia de Santa María o de La Sang" *Lliria. Historia, Geografía y Arte. Nuestro pasado y presente* Vol. 2. Hermsilla Pla, Jorge, Dir. P. 201-230. ISBN: 978-84-370-8051-2

López González M.C., García-Valdecabres J. 2019. "Parametric Processes in Implementing H-BIM on Historical Architecture". In: Marcos C. (eds) *Graphic Imprints. EGA 2018*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93749-6_76

Martín Talaverano, R., Murillo Fragero, J. I., Utrero Agudo, M.^a Á. 2021. "Reflexiones y criterios relativos a la creación de modelos BIM de edificios históricos", *Arqueología de la Arquitectura*, no. 18: e113. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.005>

Marshall, Gerald F., Stutz, Glenn E. 2012. "Handbook of Optical and Laser Scanning". Rochester, New York. Ed. Taylor & Francis. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/41669>

Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes por la Real Orden; Declaración de Monumento Nacional por Real Orden del 29 de Septiembre de 1919 de la Iglesia de la Sangre (*Diario la Gaceta de Madrid* del 05 octubre 1919). N° Registro D140M.

Murphy, M., McGovern, E., Pavía, S. 2009. "Historic building information modelling (HBIM)". *Structural Survey*. vol. 27 no. 4, pp. 311–327. <https://doi.org/10.1108/02630800910985108>

Primo García, R. 1997. "Restauración de la iglesia de la Sangre en Llíria (Valencia)" *Revista LOGGIA*, no. 4, pp. 64–75. <https://doi.org/10.4995/loggia.1997.5404>

Samper A., Herrera, B. 2014. "Análisis fractal de las catedrales góticas españolas". Ed. *La revista Informes de la Construcción*, vol. 66, no. 534, e015. <https://doi.org/10.3989/ic.12.104>

Santa Cruz-Astorqui, J. 2003. "La fotogrametría digital en el levantamiento de planos de edificios". *Informes de la Construcción*, vol. 55, no. 488, pp. 31–40. <https://doi.org/10.3989/ic.2003.v55.i488>

Visual Inertial System (VIS) Technology. What is it? How was it developed? What's coming? https://leica-geosystems.com/es-es/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360/visual_inertial_system_technology [Retrieved on 05/06/2021].

Zaragozá Catalán, A. 2004. *Arquitectura gótica valenciana*. Ed. Generalitat Valenciana Valencia. pp. 31–35. (croquis de García Lisón, M. y Zaragoza Catalán, A. Navidad 1972).

How to cite this article: Moral Saiz, Sergio; Oliver-Faubel, Inmaculada; Jordán Palomar, Isabel. 2021. "Implementation of HBIM in architectural heritage. Study of the case of the church of La Sang of Llíria.", *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, No. 15, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 4-26. <https://doi.org/10.4995/ege.2021.16075>

IMPLEMENTACIÓN DE HBIM EN PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. ESTUDIO DEL CASO DE LA IGLESIA DE LA SANG DE LLÍRIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA IGLESIA DE LA SANG

Para comprender la elección de la iglesia de La Sang como caso de estudio representativo e idóneo para esta investigación, cabe contextualizar su importancia histórica y social en el municipio de Lliria.

Lliria tiene una superficie de 228 km² y una población aproximada de 23.250 habitantes. Se encuentra ubicada en la provincia de Valencia (España), concretamente en la comarca de Camp de Túria, emplazamiento de la antigua ciudad ibera Edeta. Los primeros registros de ocupación datan de la Edad del Bronce considerándose así el primer lugar de la comarca de Camp de Túria en ser ocupado.

Tras la conquista musulmana del territorio se edificó un castillo rodeado de murallas en la zona en la que hoy día se encuentra la Iglesia de La Sang. Los musulmanes reconstruyeron el antiguo espacio donde se encontraba el núcleo romano y se construyó una mezquita árabe, es posible que, sobre los restos de algún templo romano, aunque no se conoce con certeza.

El Cid Campeador sitió la ciudad en dos ocasiones: en 1090 y en 1092, cuando fue conquistada definitivamente, solo dos años antes de la conquista de València. En 1102 fue reclamada por el general almoraví Mezdalí, pero en 1238 fue reconquistada por Jaime I y en 1240 fue declarada ciudad cristiana, entrando en la época sociocultural de la Edad Media.

A raíz de la reconquista de Jaime I tuvo lugar un repartimiento de tierras y posterior repoblación de cristianos. Los nuevos pobladores reutilizaron y transformaron los espacios musulmanes como fue el caso de la antigua Mezquita Mayor, que fue convertida en una nueva iglesia cristiana: Iglesia de Santa María o de La Sang.

El bien sufriría diferentes actuaciones durante el paso de los años, como adición de capillas laterales, cornisas, remates, elementos decorativos, etc. Incluso algunas de sus partes tuvieron que ser reconstruidas como la fachada noreste, que se derrumbó en 1954.

La sucesión de épocas también conlleva la adaptación de los elementos y espacios representativos de cada una con respecto a la siguiente, lo que puede suponer pérdida de información histórica y a su vez la generación de nuevo patrimonio representativo, como pueden ser las iglesias de conquista, de las cuales uno de los ejemplos mejor conservados es la Iglesia de La Sang, reconocida como Bien de Interés Cultural en virtud de la Disposición Adicional Primera de la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español, de

acuerdo con la Disposición Adicional Primera de la Ley 4/1998, de 11 de junio, de la Generalitat Valenciana, del Patrimonio Cultural Valenciano.

Por lo tanto, además de estar emplazada sobre la antigua Mezquita Mayor de Lliria, el transcurso de la historia ha hecho que el propio bien haya sufrido cambios físicos y volumétricos, pudiendo interpretarse diferentes fases históricas del mismo. Este hecho hace que la iglesia de La Sang de Lliria sea un BIC idóneo para realizar un levantamiento HBIM, obtener simulaciones tridimensionales de fases históricas previas y extraer resultados concluyentes.

La motivación para la realización de este levantamiento HBIM es la consideración de La Sang como un edificio significativo y representativo en su clasificación, como se ha comentado, así como la cercanía y la buena disposición de la Parroquia y de la Cofradía de la Sang de Lliria ante la digitalización de sus monumentos históricos.

Sobre la iglesia de La Sang existen diferentes trabajos y publicaciones a destacar, como la publicación de Primo García (1997) "Restauración de la iglesia de la Sangre en Lliria (Valencia)", donde se expone, entre otros casos, los trabajos de rehabilitación realizados en la iglesia en 1993, el estudio realizado por el académico Zaragoza Catalán (2004) "Arquitectura gótica valenciana" en el que describe modelo de iglesia de reconquista establecido en la Sangre de Liria.

1.2 DECLARACIONES DE PROTECCIÓN PATRIMONIAL DE LA SANG

La iglesia de La Sang fue declarada Monumento Nacional mediante Real Orden de fecha de 29 de septiembre de 1919 (G. 05.10.1919) con N° Registro D140M, y fue publicado en la Gaceta de Madrid el 5 de octubre de ese mismo año, siendo el primer edificio religioso de la Comunidad Valenciana en recibir tal distinción.

Tiene incoación del expediente de delimitación del entorno de protección y normativa de protección de la Iglesia de la Santísima Sangre, por Resolución de 16 de julio de 1999 de la Dirección General de Patrimonio Artístico de la Consellería de Cultura y Educación. N° registro R-I-51-0000165.

1.3 HBIM

Este artículo tiene como materia de estudio el HBIM. Es por ello que es pertinente en este punto explicar el término:

"Heritage Building Information Modeling", por sus siglas HBIM es una metodología basada en

el uso eminente de la tecnología BIM focalizada en edificios históricos, patrimoniales o bienes protegidos de interés cultural o histórico. El término también ha sido utilizado con la denominación de “Historic Building Information Modeling” (Murphy, et al., 2009).

1.4 TRANSICIÓN DE CAD A BIM DE LOS PROYECTOS PATRIMONIALES

La metodología HBIM, a pesar del gran aporte de valor que conlleva en cuestión de levantamiento arquitectónico, es utilizada de manera muy reducida en contraposición al levantamiento mediante herramientas CAD (Computer-aided design), que continúa siendo utilizado actualmente de forma mayoritaria.

El dibujo asistido por ordenador permitió en su momento la informatización de los resultados, obteniendo levantamientos arquitectónicos más precisos y con un nivel de error mucho más reducido. Sin embargo, los programas CAD trabajan con la información, pero los datos del levantamiento han de ser introducidos de forma externa, y por tanto medidos de forma externa. Si la forma de medición sigue el concepto de levantamiento tradicional, los resultados en CAD tendrán el mismo error acumulado que en el método de geometría clásica euclidiana. Para paliar esto, el software CAD puede requerir de un sistema de medición externo que ofrezca mayor exactitud como es la fotogrametría. Todos estos conceptos son recogidos en “La fotogrametría digital en el levantamiento de planos de edificios” (Santa Cruz Astorqui, 2003).

Aun utilizando el método fotogramétrico, y a pesar de un nivel de error muy reducido, los resultados obtenidos no serían suficientes como para obtener simulaciones de fases históricas previas del bien, debido a la falta de información y a la compleja visualización de este como se indica en “De la fotogrametría a la infografía” (A. Almagro, 2003).

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Si bien la metodología HBIM todavía no goza de un uso extendido dentro de los proyectos patrimoniales como indican Chiabrando et al. (2016) en su artículo “Historical buildings models and their handling via 3d survey: from points clouds to user-oriented HBIM”:

The future of 3D model is the real-time handling and the direct upgrading of information into the HBIM database, but experiences of BIM approach for Heritage documentation and conservation are still not very developed, rather than in new buildings design ones.

También Jordán-Palomar et al. (2018) que muestran el lento desarrollo de esta metodología en patrimonio:

However, these applications do not contemplate the historical and cultural legacy of the buildings and sites stated that BIM implementation in existing buildings is scarce.

Martín Talaverano, Murillo Fragero y Utrero Agudo (2021) exponen en su artículo “Reflexiones y criterios relativos a la creación de modelos BIM de edificios históricos” la incorporación de la arqueología en estos estudios históricos:

El sistema de información del modelo HBIM debería articularse [...] en torno a la secuencia, que se ajusta con rigor a la naturaleza del edificio histórico y permite vincular los datos de un modo coherente y lógico. Su identificación es posible gracias a la aplicación de la metodología de la Arqueología de la Arquitectura la cual determina rigurosamente las distintas fases y transformaciones que configuran la realidad evolutiva del edificio.

No obstante, sí que comienzan a hacerse visibles ciertos proyectos históricos que cubren complejas necesidades gracias a dicha metodología. Un ejemplo es el proyecto de restauración de la Basilica di Collemaggio en L'Aquila (Italia) tras el terremoto que dañó gravemente el edificio en 2009. A partir del estudio de escaneo fotogramétrico y láser, se realizó un modelado para crear un proyecto patrimonial BIM detallado para gestionar las fases de análisis, simulación de comportamiento estructural, evaluación económica del proyecto y restauración final.

Otro ejemplo es el de la maqueta de la Cartuja de Jerez (Cádiz, España), cuyo aporte de Castellano-Román, M. y Pinto-Puerto, F. (2019) plasma los niveles de conocimiento de los edificios patrimoniales a raíz de la modelización BIM en su artículo “HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)”

The comprehensive heritage interpretation of the Charterhouse of Jerez has enabled a classification of the areas of the monastery according to their potential to produce significant data refusing, completing or inspiring new research.

Otros ejemplos de HBIM en España son la Capilla del Sagrado Corazón de la Catedral de Palma (Mallorca) o el Claustro de la Catedral de Pamplona como se indica en la “Guía de Usuarios BIM. Documento 14” (Building Smart Spain, 2018).

Respecto a la metodología de modelado HBIM se pueden destacar diferentes aportaciones al estado de la cuestión, como el trabajo de Samper y Herrera (2014) “Análisis fractal de las catedrales góticas españolas” o la publicación de López González y García-Valldecabres (2019) “Parametric Processes in Implementing H-BIM on Historical Architecture”.

De los proyectos realizados en HBIM es común extraer beneficios enfocados al futuro, como pueden ser planes de conservación, control de obra durante

rehabilitaciones o la generación de repositorios de consulta con la posibilidad de realizar búsquedas personalizadas y comparar los resultados. En la mayoría de los proyectos HBIM se utiliza el escáner láser como herramienta de toma de datos.

2.1 ESCÁNER LÁSER

La herramienta de medición utilizada en la metodología HBIM para solventar los problemas de medición comentados en el punto 1.3, es el escáner láser.

Dentro de la vanguardia de esta herramienta se encuentra la tecnología Visual Inertial System, o por sus siglas: VIS.

Se trata de una tecnología desarrollada por Bernhard Metzler, director del Centro de tecnología Hexagon. En un artículo en la página web de Leica Geosystems, se desarrolla la funcionalidad de la tecnología VIS:

In principle, Visual SLAM is nothing more than a repetitive application of resection and forward-intersection with an optional bundle-adjustment at the very end. These basic algorithms are well known from photogrammetry for more than a century [...].

Durante el desplazamiento entre los diferentes estacionamientos se realiza un rastreo de posición entre los sucesivos cuadros de imagen.

En un proceso continuo se calculan las coordenadas 3D de diferentes objetos y elementos del edificio y son rastreadas desde dos posiciones o más, para determinar la siguiente posición.

2.2 BASES DE DATOS HISTÓRICAS CON HBIM

Con la metodología HBIM se consigue generar una base de datos del bien histórico a partir de la nube de puntos. La nube de puntos es el punto de enlace entre los datos físicos obtenidos del edificio y el modelo digital del mismo. El modelado del estado actual se realiza utilizando como soporte la nube de puntos mediante solapamiento de elementos sobre la misma. El modelo se alimenta tanto de la información que puede abarcar la nube de puntos (información métrica y colorimétrica) como de la que no puede (características de materiales, mediciones, identificación de elementos, etc.) Uno de los principales estudios realizados sobre bases de datos BIM es “Cloud-based BIM data transmission: current status and challenges” (Kereshmeh, 2016).

El modelo puede ofrecer visualizaciones de diferentes fases históricas, realizar comparaciones instantáneas entre ellas y, en mayor o menor medida, resultar de gran utilidad para investigaciones arqueológicas o históricas más pormenorizadas sobre el propio bien (Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM, 2017):

El modelo de información se constituye en una fuente única de información coherente que asegura

la transferencia de información [...] hasta la fase de mantenimiento.

2.3 DATACIÓN HISTÓRICA CON HBIM

En muy pocos casos se ha implementado la metodología HBIM desde un enfoque centrado en la investigación de fases históricas pasadas debido a su dificultad (Benavides, 2017):

También presenta una mayor dificultad a la hora de obtener cronologías, ya que del examen superficial [...] es difícil encontrar artefactos que den una clara adscripción cronológica relativa, y los métodos absolutos son todavía bastante costosos.

Existen ejemplos como el proyecto BIM de la Iglesia de Santiago de Peñalba en Ponferrada (León), en el que se realizó un modelo BIM estructurado en base a la secuencia evolutiva del edificio y a sus etapas históricas. Sin embargo, llama la atención el hecho de que, dentro de los proyectos HBIM, ninguno utiliza como eje las fases históricas previas. Es decir, no se llegan a modelar, sino que se utilizan para extraer información para realizar el levantamiento actual. De ahí surge la pregunta: ¿Hasta qué punto es viable explotar el potencial HBIM obteniendo simulaciones de fases históricas previas en un edificio patrimonial?

A raíz de la pregunta generada se buscaron referencias sobre simulaciones de fases históricas previas de edificios patrimoniales, pero lo que se encontró fue, en mayor medida, reconstrucciones virtuales. De todas estas reconstrucciones el porcentaje mayoritario se trataba de documentos bidimensionales generados mediante programas de edición de imagen, y en los casos de los documentos tridimensionales no se encontraba la gestión de la información propia del BIM dentro de los modelos, sino se trataba más bien de documentos generados con programas específicos de modelado no BIM.

En los proyectos HBIM realizados hasta la fecha se han conseguido repositorios de información muy completos. En ocasiones se ha conseguido obtener datos del bien histórico con una cantidad de información mucho mayor a la que se podría obtener de otros documentos de forma independiente, como es el caso del escaneo con nube de puntos de la catedral de Notre Dame por el historiador Andrew Tallon (Dollard, 2019):

La captura de la realidad de Notre Dame revela las formas en las que la estructura ha cambiado con el tiempo [...]. Y los datos obtenidos con los escáneres láser ofrecen mediciones mucho más precisas que las que cualquier dibujo, moderno o histórico, jamás podría.

Disponiendo de tal cantidad de información del bien surge la posibilidad de realizar simulaciones de fases históricas previas del bien. De estas fases, o no se tiene demasiada información, u obtener ese nivel de

información sería mucho más costoso y desprovisto de rigor dimensional que utilizando métodos de obtención de información tradicionales.

Las bases del modelo HBIM radican en la datación; los modelos de un edificio patrimonial deben estar ubicados dentro de un periodo concreto. (Conti, 2020):

Other information includes all historic data useful to reconstruct phases and interventions, like archival or printed sources, images and also oral history [...] shows an application of an eighteenth-century infrastructure, which was lacking of any reliable documentation until now. The potential of HBIM methodology has been exploited by modelling the current phase using data coming from an integrated 3D survey

En conclusión, según la información expuesta anteriormente, la extracción de información del modelo ubicado dentro de un periodo histórico debe ser ágil y la información extraída veraz y fidedigna.

3. OBJETIVOS

El principal objetivo del proyecto es:

- Datar las fases arquitectónicas de la iglesia de La Sang de Lliria (Valencia) con metodología HBIM. Se trata de datar cada fase dentro de un periodo cronológico concreto para obtener simulaciones y reconstrucciones tridimensionales de las fases históricas del bien.
- Comparar la datación de fases arquitectónicas con metodología HBIM con la datación de la que se dispone actualmente y que fue documentada, en su momento, mediante metodología tradicional de levantamiento arquitectónico.
- Exponer las posibilidades y beneficios de la obtención de las diferentes fases históricas del bien en cuanto a la datación, la documentación y la visualización del modelo de información a través de diferentes épocas.

4. METODOLOGÍA DE MODELADO HBIM DE LAS FASES HISTÓRICAS

El flujo metodológico elaborado de manera específica para este proyecto es el siguiente:

- Estrategia de usos HBIM y posibilidades del modelo HBIM para datación. Los usos HBIM serían fundamentales para enfocar el BEP, es decir, el Plan de Ejecución BIM, documento donde se reúnen los requerimientos necesarios de cara a la realización de un proyecto mediante metodología BIM.
- Estudio previo de los datos consultados del bien patrimonial, el cual es imprescindible para conocer el BIC, contextualizarlo sobre un marco histórico y comprender su importancia sociocultural. En

bienes históricos alejados de grandes ciudades en ocasiones es difícil encontrar información digitalizada, por lo que es conveniente acudir al propio municipio a realizar consultas en archivos históricos, bibliotecas o museos municipales. Es recomendable, a su vez, recopilar toda la información posible en un repositorio concreto, ya que puede ser información susceptible de consulta durante el desarrollo del proyecto. La recogida de datos abarca desde documentos visuales (planos, fotografías, dibujos) hasta registros históricos que puedan aportar cualquier tipo de información sobre el edificio (registros de propiedad, descripciones de diferentes épocas, actos acontecidos en la zona...).

- Síntesis de la información organizada y codificada.
- Reconocimiento físico del bien, acudiendo físicamente a su ubicación. Realizar este análisis organoléptico del bien se puede complementar con un reportaje fotográfico tanto del exterior como del interior, que, si bien no aporta tanta información como los datos obtenidos de un escaneo láser, puede servir para obtener información visual de forma ágil.
- Elaboración del plan de estacionamientos, el cual es imprescindible a la hora de realizar un proyecto de escaneo láser. Un plan de estacionamiento coherente mejora la agilidad de escaneo, evita errores y retornos al lugar del bien por falta de información.
- Toma de datos mediante la obtención de nube de puntos utilizando el escáner láser para documentar la fase existente.
- Postprocesado de la nube de puntos, consistente en el ajuste entre los diferentes estacionamientos, del porcentaje de solapamiento y la limpieza de elementos no deseados. Una vez procesados los datos, se pueden importar al software BIM para el modelado de las fases históricas.
- Modelado de la fase actual sobre la nube de puntos procesada. Si se ha realizado correctamente, se tratan de los datos geométricos más precisos existentes sobre el bien.
- Modelado de las fases históricas previas, utilizando como referencia la nube de puntos, el estado actual y la información recogida durante la fase de investigación como son los planos de la iglesia, fotografías previas a las últimas reformas o registros escritos históricos donde se detallan los cambios constructivos de la misma. El modelado se trata de un proceso complejo debido a que existen muchas faltas de información de fases históricas previas, por lo que, en mayor o menor medida, la información obtenida es susceptible de interpretación, siempre apoyándose en los restos actuales, elementos reutilizados a lo largo

de la historia o incluso patologías. Por ejemplo, la interpretación de marcas en fachada permite contrastar las dimensiones de los contrafuertes, que no estaban embebidos en fases previas, por lo tanto, se modelan con esa información. Con las diferentes fases modeladas se obtiene un archivo documental, repositorio de multitud de información entre la que se encuentra el levantamiento arquitectónico del BIC.

- Documentación de las fases históricas y disposición de la consulta de las mismas a través de parámetros de visualización. Un mismo elemento puede haber concurrido a través de diferentes fases históricas sufriendo modificaciones. Los parámetros de visualización permiten consultar los cambios de los elementos en función de la fase histórica.

5. RESULTADO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL CASO DE ESTUDIO DE LA IGLESIA DE LA SANG

Siguiendo la metodología anterior se han obtenido los siguientes resultados:

5.1 NUBE DE PUNTOS: TOMA DE DATOS DE LAS FASES HISTÓRICO-CONSTRUCTIVAS

Una vez comprendida la importancia del caso de estudio, así como sus adecuadas características para el proyecto, se inició el flujo metodológico específico, el cual comienza con el estudio previo de los datos. Para ello se acudió a la Biblioteca Pública Municipal l'Almodí de Lliria, en busca de las obras referenciadas de autores locales y expertos en la materia como es el caso de J. Antoni Llibrer autor de "La iglesia de Santa María o de La Sang" (2011) y "El finestral gòtic: L'església i el poble de Lliria als segles medievals" (2003), así como cronologías históricas y fuentes de documentación sobre la ciudad de Lliria. Además del estudio documental, se acudió al MALL (Museu Arqueològic de Lliria) a recabar información sobre bienes relacionados con La Sang en su época medieval, como varias piezas del retablo que se conservan, frisos, molduras o diferentes objetos encontrados tras los trabajos de restauración.

A lo largo de la fase del estudio de datos se acudió a diversas conferencias tematizadas sobre la iglesia de La Sang de Lliria como "La torre de l'església de La Sang" o "iconografía i heràldica del teginat de l'església de La Sang".

Una vez realizado el estudio durante varios meses y numerosas visitas al bien en las que se realizaron diversos reportajes fotográficos del exterior, interior y elementos representativos, se comenzó con la fase de toma de datos mediante el escaneado de la iglesia por nube de puntos.

En primer lugar, se realizó un plano de estacionamientos en el que se tuvieron en cuenta diferentes factores:

- Número de estacionamientos.
- Zona a cubrir.
- Minimización de sombras por zona.
- Calidad y tiempo de escaneo.

La toma de datos mediante escaneado duró una jornada y el equipo utilizado fue un escáner RTC 360 de la marca Leica. Las características del equipo se han detallado en la Fig. 4.

Se comenzó la toma de datos realizando un barrido circular del exterior de la iglesia en sentido antihorario, siguiendo el plan de estacionamiento, comenzando desde la fachada principal y realizando el primer estacionamiento en una superficie con la mayor planeidad posible.

Se realizó una de las tomas ubicando el escáner en el umbral del portón. Esto servirá de nexo entre las nubes de puntos exteriores e interiores. Se obtiene así, con este emplazamiento del escáner, una nube de puntos tanto exterior como interior. Se realizaron estacionamientos en diversos puntos centrales de la nave, la entrada de las capillas laterales y varios puntos frente al retablo, todo ello según el plan de estacionamiento de la Fig. 5. Una vez finalizada la toma de datos en la planta principal, se subió a un segundo nivel para obtener estacionamientos elevados y así una mayor definición del artesonado y la techumbre.

Una vez tomados los datos y siguiendo el proceso metodológico, se procesaron los datos obtenidos. El software utilizado para procesar la nube de puntos fue Cyclone Register 360 facilitado por Leica, empresa fabricante del equipo.

Para el correcto procesado de la nube de puntos se realizaron las comprobaciones visuales pertinentes para garantizar la correcta importación de estos, tanto en la vista en planta del escaneado como en las vistas tridimensionales realizadas desde cada estacionamiento. Tras las comprobaciones, el segundo paso a realizar fue en enlace entre las nubes y la optimización de estas. Para ello se realizó una alineación visual, tanto en vista de planta como en alzado, solapando lo más perfectamente posible los enlaces y puntos comunes entre las diferentes nubes. Tras el proceso de enlace, la optimización permite reducir el porcentaje de error y aumentar la solidez de la nube total de forma automática.

El último proceso fue la exportación de los datos. Se escogió un formato.E57, formato LIDAR POINT CLOUD DATA. Se trata de un archivo de imágenes 3D válido para softwares de integración de datos y modelado.

El archivo de información de la nube de puntos fue importado desde el software BIM Archicad 20. El resultado final de la nube puntos corresponde con la Fig. 7.

5.2 MODELADO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS FASES DE LA SANG

En todo proyecto realizado mediante metodología o tecnología BIM, es determinante la definición y gestión de la información. En esta línea se comenzó el proyecto de modelado introduciendo toda la información relevante de inicio: gestión de las unidades, ubicación del proyecto (coordenadas, altitud, orientación, dirección física), niveles del proyecto, y especialmente las fases del proyecto. Estas son las que, más adelante, permitieron gestionar la visualización entre las diferentes fases.

Una vez definidos los datos iniciales se comenzó el modelado del bien. Concretamente se comenzó con el terreno para poder partir sobre un elemento fijo. El nivel de desarrollo del modelo en un comienzo sería LOD200 (Level of Development 200). El motivo de no comenzar con un LOD100 es debido a que, en ese nivel de desarrollo inicial se plantea el proyecto de forma gráfica y no necesariamente geométrica. Esta es la forma de comenzar un proyecto en BIM cuando no se dispone de información inicial, pero en el caso de HBIM se cuenta con dos aspectos que difieren de los proyectos convencionales:

- El proyecto ya fue construido y es existente en un espacio real, no teniendo que definir ni su posición ni su volumetría gráficamente.
- Se cuenta con una nube de puntos que permite conocer la volumetría y posición geométrica exacta (error de 0,002 m) de cada uno de los elementos. Sobre esta nube de puntos se modela directamente.

Así pues, se comenzó con el modelado en un LOD200. En esta fase de modelado se ubicaron cada uno de los elementos en su posición aproximada a nivel conceptual y con una geometría representativa.

Una vez obtenido el modelo LOD200, se continuó añadiendo información geométrica y volumétrica en el LOD300. En esta fase se definió el tamaño y la posición precisa de cada uno de los elementos.

Muchos de los elementos modelados de esta fase actual fueron interpretados y utilizados para obtener fases anteriores del bien de forma coherente. Se modelaron los restos, vestigios y elementos de otras fases históricas existentes en la actualidad. Esto permitió realizar un modelado más exacto de fases previas de las que no se obtiene tanta información como en el estado actual. Un ejemplo de ello es el modelado del aljibe elemento presente actualmente en el exterior de la iglesia y que, en el pasado, se encontraba bajo el sahn o patio de la Mezquita Mayor.

Una vez definida la posición de todos los elementos se establecieron los enlaces e interferencias entre ellos evitando conflictos de espacios. Este es un paso necesario en el caso concreto del proyecto, ya que en un futuro se podría pretender extraer mediciones

materiales o volumétricas para posibles trabajos de restauración utilizando la información del modelo en fase actual. Una vez obtenido el modelo de la fase actual se estaba en condiciones de extraer documentación gráfica, como el alzado de la Fig. 10.

Por último, se realizó la definición de materiales en el modelo. La inclusión de materiales cambió el aspecto de los elementos (Fig. 11). Esto no supuso únicamente de la aplicación de texturas sobre los elementos vectoriales, sino que consistió también, y fundamentalmente, en la adición de la información característica del material como tal, es decir, las propiedades físicas de densidad, conductividad térmica o capacidad calorífica. En este proyecto, y debido a la imposibilidad de realizar ensayos o prospecciones de más nivel en el edificio, se escogieron valores medios representativos para todos los materiales del modelo.

5.3 MODELADO DE FASES HISTÓRICO-CONSTRUCTIVAS DE LA SANG

Tras modelar el estado actual la iglesia de La Sang se pasó a modelar una fase previa. Con ambas fases modeladas se procedió a interpretar los datos y realizar un modelado hipotético, no solo de una fase incluso más antigua, sino de una tipología de construcción totalmente distinta, como es una mezquita.

Las fases históricas son las siguientes:

- La iglesia de La Sang en su estado actual.
- La iglesia de La Sang en el s.XX.
- La iglesia de La Sang durante el s. XIII.
- La Mezquita Mayor de Llíria durante el s. XII, construcción previa a la iglesia de La Sang, de la cual se aprovecharon elementos estructurales.

Partiendo del modelado del estado actual se realizó el modelado de la iglesia original, llamada en un inicio iglesia de Santa María. El modelado se realizó apoyándose en todo aquello publicado sobre la Sang y que se había consultado en las fases previas del proyecto: publicaciones, crónicas o los planos de reconstrucción de la planta original de La Sang realizada por J.L. Castelló y J.A. Llibrer. Gracias a la recopilación y síntesis de toda la información, y al proceso de investigación recreada, se ha podido realizar un levantamiento y modelado de la iglesia de La Sang durante el s. XIII justo después de su completa construcción de la planta.

En el modelo tridimensional del s. XIII (Fig. 13) se detectaron diferencias significativas respecto del estado actual:

- La torre. El segundo cuerpo de la torre se construyó al menos un siglo después de la construcción de la iglesia.

- Las capillas laterales. Las capillas se ampliaron a ambos lados de la nave entre el s. XIV y el s. XV.
- La puerta de la fachada sureste. Se trataba de la entrada principal de la iglesia, que fue desplazada con la creación de las capillas.
- La puerta de acceso principal fue construida en el s. XV.
- Los contrafuertes que aparecen representados en el s. XIII quedaron embebidos con la creación de las capillas.
- El Alminar o minarete, torre de la mezquita. Este elemento no se modeló debido a la inexistencia de datos contrastables como para establecer su ubicación exacta o, siquiera, afirmar si existió.
- El muro de acceso a la mezquita. Si se superponen los modelos de la Mezquita Mayor y de La Sang en el s. XIII se puede comprobar cómo, efectivamente, la fachada de acceso de la mezquita fue utilizada estructuralmente para la fachada nordeste en la construcción de La Sang (Fig. 15).

Una vez modelado el estado de La Sang en el s. XIII, se pasó al modelado de la Mezquita Mayor de Lliria, edificio que estaba ubicada en el actual emplazamiento de La Sang. De ella se aprovecharon en su momento diferentes elementos estructurales para comenzar la planta del s. XII tras el derribo de la mezquita. El modelado de la mezquita fue sin lugar a duda la fase histórica más compleja de modelar debido a la poca información existente del edificio. Actualmente solo se conserva el aljibe de la mezquita y el pozo (Fig. 12), lo que permitió hacernos una idea aproximada de la planta de esta. Se conservan además unos elementos estructurales, las dos columnas que en la actualidad sustentan el coro de La Sang. Ellas nos permitieron hacernos una idea aproximada de la altura que tuvo el edificio, teorizando sobre la altura total con arcos y techumbre. También se conservan restos de la mezquita en los muros de La Sang, especialmente en la fachada noroeste. Es más que probable que este muro actual coincidiera con el muro de paso entre el sahn, o patio de la mezquita donde se realizaba la purificación de los fieles, y la sala hipóstila o sala interior.

A raíz la información obtenida de publicaciones como “El finestral gòtic. L’església i el poble de Lliria als segles medievals” o “Historia de Lliria, Geografía y Arte”, a las teorías sobre el trazado de la planta (Martínez et al., 2005) y a la obtención del propio modelado de las fases posteriores realizadas durante el presente proyecto, se consiguió realizar una representación tridimensional de la que fue la Mezquita Mayor de Lliria (Fig. 14) en la que se pueden observar diferentes elementos representativos:

- La Quibla. Se denomina así al muro de la mezquita orientado hacia la Meca. En la construcción de La Sang se rompió intencionadamente con esa orientación.
- El Haram. Es la sala principal de oración, en ella se encuentran los pilares de la Mezquita, dos de los cuales son los conservados y utilizados para soportar el coro de La Sang.
- El Sahn y el aljibe. Son los restos mejor conservados de la Mezquita Mayor en la actualidad. En el aljibe se acumulaba el agua y se extraía a través de un pozo hasta el patio exterior, donde los fieles se purificaban.

La planta de la mezquita, como el modelado 3D, son una representación hipotética basada en los restos, la investigación histórica sobre las mezquitas hipóstilas en España y las posibles relaciones entre los elementos constructivos compartidos entre los diferentes edificios a través de la historia.

No obstante, se trata del primer modelo de información existente sobre la Mezquita Mayor de Lliria, de la que a su vez que extraer simulaciones tridimensionales que muestran cómo pudo ser el pasado de La Sang, permitiendo un acercamiento al pasado musulmán de la ciudad. El repositorio de información puede ser utilizado para posibles investigaciones especializadas sobre La Sang, además de servir de guía en posibles prospecciones arqueológicas, ya que el modelo, obtenido a partir de la nube de puntos, representa la simulación de La Sang con mayor precisión espacial y volumétrica.

5.4 VINCULACIÓN Y OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DEL MODELO HBIM

Se obtuvo un archivo documental, contenedor de la información del bien tanto en su estado actual como en diferentes fases históricas. En dicho documento se puede consultar la información de todas las fases de diferentes formas:

- Vistas 2D.
- Vistas 3D.
- Tablas de datos.
- Infografías realistas.

Con las vistas 2D se obtienen planos tradicionales, acotables y medibles. Los elementos de los planos están vinculados, lógicamente, a los elementos 3D. Partiendo de la nube de puntos, se obtienen unos planos totalmente adaptados a las medidas geométricas reales del bien, pudiendo comprobar así la medida y orientación real de cada elemento.

En cuanto a las vistas 3D, modeladas sobre la nube de puntos, ofrecen una perspectiva desde cada ángulo posible de la iglesia de La Sang, pudiendo distinguir cada una de la posición de los elementos, así como sus materiales y sus características físicas. Dentro de las vistas 3D se puede navegar para acceder a visualizaciones que no serían posibles de otro modo.

Además, la correcta definición de las fases históricas y de los elementos en cada una de ellas permite alternar entre los diferentes estados del bien. Se pueden analizar así de forma independiente, o bien obteniendo una visualización simultánea de distintas fases. Esto posibilita la realización de una comparación directa que muestre los cambios estructurales y volumétricos que ha sufrido en bien a través del tiempo.

Por otra parte, las vistas de tablas permiten visualizar y gestionar la información contenida en el modelo de forma directa y más detallada. Un ejemplo de estas tablas se ve en la Fig. 16. Se puede realizar una contabilización de los elementos del modelo, así como sumatorios totales de unidades de medida. De otra forma sería muy costoso obtener mediciones de forma manual sobre el modelo.

Las infografías no son estrictamente un tipo de vista del archivo documental, pero sí que son un tipo de vista que se puede extraer fácilmente del propio archivo. Con las infografías se obtienen imágenes no vectoriales de una perspectiva concreta del proyecto como la de la Fig. 17. De esta forma se facilita la visualización ante cualquier tipo de perfil profesional o no, mostrando los elementos de una forma realista y fácilmente interpretable. Se pueden obtener infografías de cada una de las fases datadas del modelo, obteniendo de esta forma representaciones de fases de las que se obtiene poca información, incluso de edificios completos, como es la Mezquita Mayor de Llíria. Este tipo de infografías pueden ser utilizadas en archivos de difusión histórica, museos, publicaciones o exposiciones.

6. COMPARATIVA DE HBIM Y MÉTODO CONVENCIONAL

Una vez realizado el modelado de todas las fases históricas de La Sang, y habiendo obtenido el archivo documental del que poder extraer información de forma ágil de todas estas fases, cabe realizar una retrospectiva comparativa entre la metodología HBIM y lo que hubiera supuesto realizar un levantamiento mediante una metodología convencional, entendiendo por metodología convencional el uso de herramientas de medición simples como cintas métricas, o incluso distanciómetros láser de un solo punto por medición. En esta metodología convencional sería imprescindible el uso de equipos o estructuras auxiliares para trabajos en altura para poder tomar medidas, imágenes y detalles de elementos de difícil acceso. Además, conllevaría la realización de un número muy elevado de fotografías para poder interpretar todas y cada una de las partes de la iglesia, tanto del interior como del exterior. El nivel de error al transcribir las medidas a un programa CAD sería superior, debido a la complejidad constructiva y técnica de este tipo de edificios. A todo esto, cabría añadir que, para la definición de elementos y zonas de difícil acceso, el levantamiento se debería complementar necesariamente con decisiones a criterio

del proyectista, si las fotografías ni con las medidas se pudiesen ubicar los elementos en sus puntos exactos de la misma forma que se realizaría con una nube de puntos.

7. CONCLUSIONES

7.1 CONTRIBUCIÓN AL CUERPO DEL CONOCIMIENTO DE ESTE PROYECTO

Se puede afirmar que este proyecto ha dado como fruto dos contribuciones principales:

- La generación de una metodología de modelado de fases históricas en HBIM, lo cual supone una contribución teórica.
- La realización de simulaciones tridimensionales de fases anteriores de un caso de estudio utilizando HBIM, de las cuales actualmente no hay existencias. Se trata en este caso de una contribución práctica.

7.2 CONCLUSIONES

Asimismo, se está en condiciones de decir que del proyecto se pueden extraer una serie de conclusiones:

- El modelado de fases históricas de edificios conlleva un estudio y análisis previo que requiere la recopilación extensa de documentación para poder representar correctamente el estado actual de bien, así como una reproducción lo más aproximada posible de estados anteriores.
- El modelado de fases históricas en HBIM presenta dificultades debido a la complejidad de los elementos del bien, los sistemas constructivos/estructurales y la pérdida de información debido a la barrera temporal.
- La combinación de técnicas de escaneo láser junto a la tecnología de modelado BIM generan información relevante de la datación histórica la cual sería imposible obtener mediante un levantamiento tradicional.

Los resultados muestran el potencial y las ventajas que presenta respecto a la tecnología mayoritaria actual, de igual forma que la tecnología y herramientas mayoritarias actuales resultaron ventajosas y eficaces sobre la metodología tradicional anterior.

En conclusión, es de esperar que en los próximos años Heritage BIM vaya adaptándose de manera natural y paulatina en el ámbito patrimonial y tecnológico en base a los resultados positivos y a su gran aporte de valor.