

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO APLICADO A SU GESTIÓN, CONSERVACIÓN Y DIFUSIÓN. EL CASO DE ESTUDIO DE LA VILLA DE ÁGREDA (SORIA).



TESIS DOCTORAL
2014



DOCTORANDO: ZAIRA JOANNA PEINADO CHECA
DIRECTOR DE TESIS: Dr. JOAQUIM REGOT MARIMON
CO-DIRECTOR: Dr. FELIPE BUILL POZUELO
DEPARTAMENTO DE EXPRESIÓN GRÁFICA ARQUITECTÓNICA I
DOCTORADO EN COMUNICACIÓN VISUAL EN ARQUITECTURA Y DISEÑO

*El valor de una civilización se mide no por lo que sabe crear,
sino por lo que sabe conservar.*

Edouard Herriot

*Sin que la sociedad use su patrimonio, sin que lo necesite,
sin que lo recupere y lo integre a sus formas de vida,
sin que vuelva a ser algo cotidiano y próximo,
sin que lo reivindique como un derecho,
no hay futuro para el patrimonio.*

María Luisa Cerrillos

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi gratitud a aquellos que de alguna manera han contribuido al desarrollo de este trabajo.

A Joaquín Regot, director de esta tesis, por su permanente disposición, por la buena orientación, buenos consejos y el capitaneo de la tesis.

A Felipe Buill por la co-dirección, por su apoyo, seguimiento, sus valiosas sugerencias y acertadas indicaciones.

Al Laboratorio de Fotogrametría de Valladolid por los medios prestados, en especial a Luis y David por su generosa disponibilidad.

A mi hermano Alberto por su ayuda y sus conocimientos.

Al arquitecto municipal de Ágreda, Javier Serrano por el tiempo dedicado.

A la sección de Patrimonio Histórico de la Junta de Castilla y León, a Santiago Velasco por su disposición y al arquitecto José Antonio García de León por la documentación facilitada.

A la Diócesis de Osma-Soria, en especial a D. Juan Carlos Atienza, a la Parroquia de Ágreda, y a sus dos párrocos, D. Alberto Blanco y D. Alberto de Miguel por facilitarme el acceso a la iglesia y la documentación relativa.

Por último, al Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Zaragoza, por los medios prestados, en especial a Luis Agustín por su incondicional apoyo en mi labor docente, a Angélica Fernández por haber sido mi guía en este trayecto y al resto de compañeros.

DEDICADO

A Guillermo por sus consejos, paciencia y apoyo.

A Alberto y Manoli, mis padres, por estar ahí siempre.

A mi hermano, por su apoyo.

A mi pueblo, Ágreda.



RESUMEN

El patrimonio cultural está constituido por todos aquellos elementos y manifestaciones de la actividad humana que constituyen un valor esencial para la identidad de un territorio, pueblo o cultura porque están producidos en el proceso histórico de su sociedad. En la actualidad, el patrimonio está siendo cada vez más apreciado por sus ciudadanos y son más los agentes que se interesan por su protección, en el sentido de conservación y transmisión del legado cultural a generaciones futuras.

Sobre esta línea de actuación, los objetivos de esta tesis son establecer distintas metodologías para llevar a cabo la preservación del patrimonio, en particular el patrimonio arquitectónico, a través de las tecnologías digitales más actuales. La exposición del trabajo se ha desarrollado sobre el patrimonio arquitectónico de Ágreda, una población de intensa historia y centro estratégico donde confluyeron diversas culturas y civilizaciones. Entre sus monumentos más notables, se ha trabajado sobre el arco Califal, el torreón de la Muela y la iglesia de San Miguel.

Los procedimientos que velan por la preservación activa y puesta en valor del patrimonio arquitectónico son tres, gestión, conservación, y el último, fomentar su conocimiento a través de la difusión. En los tres casos, la base principal de trabajo ha girado en torno al modelo tridimensional del objeto patrimonial. De ahí, que la documentación gráfica del patrimonio arquitectónico fuese el primer paso hacia la preservación del patrimonio arquitectónico. Y por tanto, el levantamiento arquitectónico a través de las tecnologías más avanzadas fuese el instrumento fundamental para la digitalización del patrimonio. Las tecnologías utilizadas y contrastadas en este estudio han sido la combinación de fotogrametría *Structure from Motion* terrestre y aérea por un lado y por otro, el láser escáner. En ambos casos, se ha conseguido un modelo tridimensional métrico y fidedigno de empleo sobre los tres ámbitos de protección.

El primero de los ámbitos de aplicación es la gestión. A día de hoy, las instituciones gestionan el patrimonio mediante Sistemas de Información. La utilización de estándares abiertos en dichos sistemas permitiría una mejora susceptible en el ámbito de la interoperabilidad. De esta forma, se plantea un modelo de datos basado en información espacial tridimensional a través del estándar abierto e interoperable CityGML (estándar OGC) que permite almacenar información temática de la catalogación arquitectónica.

El siguiente ámbito es el de la conservación arquitectónica. Se delimita el término conservación al de mantenimiento, en base a la monitorización del bien patrimonial, con la utilización de un instrumento que facilite el diagnóstico y análisis de las patologías, deterioros y daños sufridos en el bien por diversos agentes. El método propuesto ha sido el denominado Sistema de Información Monumental (SIM) donde se fusiona el potencial de la tecnología SIG con el modelo tridimensional, por lo que permite enlazar información geométrica con información alfanumérica del estado de conservación.

En último lugar, se ha podido comprobar cómo un modelo tridimensional puede estar destinado al uso de la difusión, aun cuando se haya elaborado para otro fin (como un proyecto de intervención), valiéndose de herramientas para la transmisión de nuestro legado. El marco de referencia han sido la realidad aumentada, *Google*, las fotografías panorámicas, los entornos web y las animaciones y recorridos virtuales aplicados al caso de estudio de la villa de Ágreda. Porque la suma de las tecnologías más la documentación gráfica han hecho un recurso capaz de convertir al patrimonio cultural en un espacio plenamente didáctico, interactivo y abierto a todos los participantes, elevando el valor de estos lugares.

ABSTRACT

Cultural heritage consists of all the elements and manifestations of human activity which constitute the essential value for the identity of a territory, people or culture because they are also produced in the historical process of their society. Today, the heritage is being increasingly appreciated by citizens and agents are more interested in their protection, in the sense of preservation and transmission of cultural heritage for future generations.

On this line of action, the objectives of this thesis are to establish different methodologies for carrying out heritage preservation, particularly on the architectural heritage through the latest digital technologies. The exhibition of work has been developed on the architectural heritage of Agreda, a population of intense history and strategic center where different cultures and civilizations converged. It has worked with the most notable buildings as the arc Caliphate, the tower of La Muela and the church of San Miguel.

The procedures that ensure the active preservation and enhancement of the architectural heritage are three, management, conservation, and finally, to promote their knowledge through diffusion. In all three cases, the main base of work has revolved around the three-dimensional model of the heritage object. Hence, the graphic documentation of the architectural heritage was the first step towards the preservation of the architectural heritage. And therefore the architectural survey through the most advanced technologies to be the essential instrument digitized heritage. The technologies used and compared in this study were a combination of terrestrial and aerial photogrammetry "Structure from Motion" on the one hand and on the other, the laser scanner. In both cases, a metric and reliable three-dimensional model has been achieved of employment on the three areas of protection.

The first application area is the management. Today, institutions managing heritage through Information Systems. The use of open standards in such systems will allow an improvement in the area of interoperability. Thus, it sets up a data model based on three-dimensional spatial information through open and interoperable standard CityGML (OGC standard) that allows to store thematic architectural documentation.

The following is the scope of architectural conservation. Defined the term conservation as maintenance, based on the asset monitoring, using an instrument which facilitates the diagnosis and analysis of diseases, deterioration and damage in the heritage by various agents. The proposed method has been called Monumental Information System (SIM) which has merged the potential of GIS technology with three-dimensional model by allowing geometric information link with alphanumeric information condition.

Finally, it has been seen how a three-dimensional model may be intended for broadcast use, even though it is intended for other purposes (such as an intervention project), using tools for the transmission of our heritage. The framework has been augmented reality, Google, the panoramic photographs, web environments, animations and virtual tours applied to the case study of the town of

Ágreda. Because the addition of technologies and graphic documentation have been able to convert a resource cultural heritage in a fully didactic, interactive and open space for all participants, raising the value of these places.

ÍNDICE

1. Introducción	17
1.1. Elección y justificación del tema	17
1.2. Estado de la cuestión	18
1.3. Objetivos de estudio	21
1.4. Estructura del trabajo	22
PARTE I: MARCO TEÓRICO	25
2. El patrimonio arquitectónico y su marco teórico	27
2.1. El patrimonio cultural: definición	27
2.2. Tipos de patrimonio y el patrimonio arquitectónico	29
2.3. Contexto histórico: evolución de protección del patrimonio	32
2.4. Normativa legislativa	36
2.4.1. Normativa Española	37
2.4.1.1. Ley del Patrimonio Histórico Español	37
2.4.1.2. Normas sobre patrimonio en las Comunidades Autónomas	41
2.4.2. Normativa Internacional: principales directrices	41
2.4.2.1. Carta de Atenas (1931)	42
2.4.2.2. Carta del Restauro (1932)	43
2.4.2.3. Carta de Venecia (1965)	43

2.4.2.4. Otras directrices	44
2.5. Modelos administrativos del patrimonio	45
2.5.1. Administración Pública	46
2.5.1.1. Ministerio de Cultura. Área Patrimonio Histórico	46
2.5.1.2. Las Comunidades Autónomas y su acción en el patrimonio	50
2.5.1.3. Los Ayuntamientos al cuidado del patrimonio	53
2.5.2. Propiedad privada	54
2.5.2.1. Los particulares como sujetos de derecho	54
2.5.2.2. La Iglesia Católica	55
2.6. Organismos e Instituciones Internacionales y Nacionales	56
2.6.1. Organismos Internacionales	56
2.6.1.1. La UNESCO y el Patrimonio Mundial	56
2.6.1.2. La Unión Europea	57
2.6.1.3. Consejo de Europa	57
2.6.1.4. International Council On Monuments and Sites (ICOMOS)	58
2.6.1.5. Otros organismos internacionales	59
2.6.2. Organismos Nacionales	60
2.6.2.1. El Consejo de Patrimonio Histórico Español	60
2.6.2.2. Otras organizaciones nacionales	61
3. Documentación del patrimonio a través del levantamiento arquitectónico	65
3.1. Técnicas de captura de datos	66
3.1.1. Sistemas simples	67
3.1.2. Sistemas topográficos	68
3.1.3. La fotografía	68

3.1.4. La fotogrametría	70
3.1.5. Escaner 3D	75
4. Contexto de gestión y catalogación arquitectónica	81
4.1. Los Sistemas de Información en el ámbito autonómico	85
4.1.1. El Sistema de Información de patrimonio de Castilla y León	86
4.2. El planeamiento urbanístico	88
4.2.1. Nivel jurídico local	90
5. Principios de la conservación arquitectónica	96
6. El ámbito de la transmisión, difusión y puesta en valor del patrimonio arquitectónico	101
PARTE II: METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE ÁGREDA	105
7. Documentación gráfica del patrimonio arquitectónico. Aplicación al caso de Ágreda	107
7.1. Levantamiento arquitectónico del patrimonio	108
7.2. Análisis del elemento a documentar	110
7.3. Grados de documentación	110
7.4. Planimetrías previas	112
7.4.1. Planimetrías previas de la iglesia de San Miguel	112
7.5. Modelos tridimensionales a partir de planimetrías	117
7.5.1. Modelado del Torreón de la Muela	118
7.6. Estándares de documentación	123

7.7. Técnicas de captura de datos	124
7.7.1. Rectificación fotográfica	125
7.7.2. Fotogrametría terrestre y aérea	127
7.7.2.1. La fotogrametría terrestre: el arco Califal	129
7.7.2.1.1. La toma fotográfica	129
7.7.2.1.2. Procesado de la información	135
7.7.2.1.3. Impresión 3D	143
7.7.2.2. La fotogrametría aérea	145
7.7.2.2.1. Caso de estudio: el levantamiento arquitectónico de la iglesia de San Miguel	148
7.7.3. Láser escaner	161
7.7.3.1. Caso de estudio: la iglesia de San Miguel	163
7.8. Conclusiones	179
8. Gestión del patrimonio arquitectónico 3d de Ágreda mediante estándares abiertos	188
8.1. Los Sistemas de Información en el ámbito patrimonial	189
8.2. La directiva INSPIRE y la Información Geográfica	190
8.3. Modelos de datos basados en estándares abiertos	191
8.4. CityGML	192
8.5. Proceso de trabajo	195
8.5.1. Levantamiento tridimensional	195
8.5.2. Modelo de datos basado en CityGML	196
8.5.3. Propuesta de componentes para difusión y acceso público	204
8.6. Conclusiones	207

9. Conservación del patrimonio arquitectónico. Aplicación al caso de Ágreda	210
9.1. La conservación	211
9.1.1. Tipos de intervención	211
9.1.2. Tipos de degradación	214
9.2. Los Sistemas de Información Geográfica	215
9.2.1. Proyectos anteriores	216
9.2.1.1. El Acueducto de Segovia	217
9.2.1.2. El Plan Director de la catedral de Santa María de Vitoria	217
9.2.1.3. El Sistema de Información Arquitectónica SIArch-Univaq	218
9.2.1.4. El Sistema de Información ARKIS	219
9.3. Propuesta del Sistema de Información Monumental	220
9.3.1. Caso de estudio: la iglesia de San Miguel	222
9.4. Conclusiones	230
10. Difusión del patrimonio del patrimonio arquitectónico. Aplicación al caso de Ágreda	234
10.1. Realidad aumentada	235
10.1.1. Tracker-less: reconocimiento de rasgos naturales	239
10.1.2. Marcadores	244
10.2. Google	248
10.3. Documentación fotográfica: panoramas esféricos	254
10.4. Entornos 3D	261
10.5. Animaciones y recorridos virtuales	263
10.6. Conclusiones	270

PARTE III: CONCLUSIONES	276
11. Conclusiones	278
11.1. Futuras líneas de investigación	282
12. Difusión de la investigación	286
12.1. Artículos en revistas	286
12.2. Actas de congresos	287
12.3. Impartición de cursos	288
12.4. Exposiciones	288
13. BIBLIOGRAFÍA	291
13.1. Bibliografía utilizada y consultada	291
13.2. Páginas web	313
14. ANEXO 1	316
14.1 Ágreda, villa de las tres culturas	316
14.1. La historia de Ágreda	317
14.1.1. La prehistoria, los celtíberos	317
14.1.2. La época romana	319
14.1.3. Los visigodos	319
14.1.4. Los árabes	320
14.1.5. Plena Edad Media, la repoblación	322
14.1.6. La Edad Moderna	324
14.1.7. Sor María de Jesús	328

14.1.8. La Edad Contemporánea	329
14.2. Elementos singulares objeto del estudio	335
14.2.1. El arco Califal	335
14.2.3. Iglesia de la Peña	336
14.2.4. Iglesia de San Miguel	337
14.2.2. Torreón de la Muela	338
15. ANEXO 2: REFERENCIA DE LAS FIGURAS	345

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La elección del tema de la presente tesis viene motivado por mi vinculación con la representación gráfica y gestión del patrimonio. En los últimos cinco años, he ampliado mi formación con el Máster en Gestión del Patrimonio Cultural de la Universidad de Zaragoza, he puesto en práctica conocimientos adquiridos y experiencias realizando mi actividad docente en torno a la "Representación Gráfica del Patrimonio" como profesora asociada del Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Zaragoza.

El ámbito en el que gira la investigación es la preservación del Patrimonio Cultural a través de las tecnologías digitales. El patrimonio tiene un valor esencial de identidad y representativo de la diversidad de un territorio. Es un recurso fundamental para el desarrollo de la sociedad y expresión de su contribución a la civilización humana que se encuentra en continuo proceso de elaboración y cambio. Nuestro compromiso es transmitir nuestro legado cultural, ya que si somos conscientes del valor que proporciona a nuestro desarrollo y del aumento que produce a nuestra calidad de vida, seremos respetuosos con la historia y capaces de comprender nuestra propia cultura. Así, como punto de partida, los tres pilares básicos que se plantean para conseguir la protección de nuestra herencia cultural, son la gestión, conservación y difusión del patrimonio, y más en concreto, del patrimonio arquitectónico a través de la utilización de modelos tridimensionales. Asimismo, la práctica la metodología llevada a cabo sobre el patrimonio arquitectónico durante el trabajo ha sido el caso de estudio de Ágreda. Una de las razones de esta elección es su rico legado perteneciente a tres culturas, árabes, judíos y cristianos que vivieron conjuntamente. Me pareció acertada la decisión de elegir el caso de estudio de la "Villa de Ágreda", no solo porque pasé los años de mi infancia creciendo al lado de la iglesia que tanto significa para mí, sino porque le quería dedicar un trabajo tan especial.

En primer lugar, la idea de Bartolomucci (2008) junto con la propuesta de la Carta de Venecia parecen los puntos más adecuados para establecer un inicio. Exponen que una buena documentación es necesaria en todas las fases del proceso de tutela, conservación, gestión y difusión. La documentación informativa de un bien permite, además, una mejor comprensión de su significado y este reconocimiento tiene que ser el primer paso para cualquiera de las fases enunciadas, que en líneas generales son:

- conocer el objeto y comunicar el significado y el valor;
- construir una base de datos con información espacial para la gestión;

- construir una base de datos con información necesaria para la conservación y la monitorización;
- generar modelos de difusión y puesta en valor del patrimonio.

El término de “documentación” se ha usado principalmente para describir dos finalidades. La primera, como recogida de información relativa a la historia, a los problemas de conservación de los monumentos y a las características físicas y geométricas del objeto mediante la captura de datos, y la segunda, al proceso de organización, gestión y conservación de los datos (Le Blanc y Eppich 2005). La captura de datos se ha realizado mediante el uso de tecnologías como el láser escáner y la fotogrametría, porque permiten la digitalización del bien de una forma exhaustiva y se obtienen unos resultados métricos, fidedignos y realistas que proporcionan una documentación precisa, útil y valiosa. Me pareció pertinente trabajar con el uso de estas tecnologías, por un lado por mi labor docente y por otro lado por mi labor investigadora. Su utilización sigue siendo un constante esfuerzo por el continuo aprendizaje que supone la constante actualización tanto en instrumentación como en programas informáticos.

Asimismo, los modelos se elaboran para conocer e informar el estado actual de un edificio patrimonial, debido a que aportan consideraciones sobre los procesos de transformación del bien en el tiempo. Por otro lado, un modelo del estado previo es el punto de partida para el inicio de un proyecto de consolidación, rehabilitación o restauración. Estos otros aportan consideraciones sobre la interpretación realizada, cuyo objeto es evitar pérdidas de información del bien intervenido (Angulo 2012). De esta forma, un bien en continua actualización de la información podría tener varios modelos. Además, en muchos otros casos, donde se ha realizado este tipo de modelos tridimensionales, posteriormente quedan almacenados sin utilizarse en un sistema de registro para su reutilización en otros ámbitos. Por ello parecía pertinente la utilización del mismo modelo en los ámbitos propuestos.

1.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En esta sección se va a desarrollar un estudio que recoge las tendencias actuales y estado de la cuestión aplicados sobre el patrimonio. Se pretende en un primer paso, conocer las premisas de partida para posteriormente complementar lo existente. Para ello se ha realizado un intenso repaso bibliográfico sobre libros, artículos y proyectos. Más aún, se van a diferenciar los siguientes campos de interés: el concepto de patrimonio hasta la obtención de la documentación gráfica arquitectónica, con aplicación metodológica que deriva en la gestión de modelos tridimensionales, la conservación de elementos patrimoniales y por último, la difusión y puesta en valor del patrimonio cultural a través de estos modelos.

El punto de partida ha sido el concepto de patrimonio, tipos de patrimonio y evolución. Para ello se ha revisado normativa que incluyen leyes, cartas, recomendaciones, organismos y entes administrativos que lo gestionan, así como propietarios y definiciones

en actuaciones de gestión, conservación y difusión. De este modo, ha sido importante la aportación de Querol (2010) con *Manual de gestión del patrimonio cultural* donde estructura todos los conceptos referentes al patrimonio, igualmente contribuyen a la exposición libros y textos de Hernández (2002), García Cuetos (2011), Querol y Martínez (1996) y Tapia (2011). Otros como Alonso (2005) han realizado aportaciones sobre los catálogos del patrimonio y Ballart y Tresserras (2001) sobre la gestión de éste, avalados también por Castellano y Sánchez (2006) y Troitiño (2002). El Plan PAHÍS es referencia en cuestión de actuaciones sobre el patrimonio de Castilla y León y así como las páginas web de las administraciones encargadas de la tutela del patrimonio cultural.

En referencia a la documentación gráfica arquitectónica y el levantamiento arquitectónico, uno de los autores más relevantes es Antonio Almagro (2004a) con *Levantamiento arquitectónico* donde explica el concepto y metodología del levantamiento arquitectónico y lo materializa en una serie de documentos gráficos sobre edificios patrimoniales de Granada y de la Alhambra. Otros autores que hacen referencia a este concepto son Mario Docci y Diego Maestri (1993, 2010) en *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, donde ofrecen una visión desde la historia hasta conceptos y teorías de la disciplina del estudio del levantamiento y la importancia que tiene para identificar, analizar y registrar el origen y estado de un edificio, añadiendo la utilización de instrumentos de medición y sus fundamentos teóricos aplicados a campos de la arquitectura, urbanismo, arqueología y restauración. Otros autores como Valle Melón (2007), en su tesis *Documentación geométrica del patrimonio. Propuesta conceptual y metodológica*, establece una metodología de trabajo en torno a la documentación geométrica del patrimonio, métodos y técnicas de medida, agentes, procesos, normalización y estandarización sobre los proyectos de documentación.

En cuanto a las técnicas de captura de datos, se han ido escribiendo textos y documentos sobre fotogrametría. Empezó la *American Society of Photogrammetry* (1980) definiendo la fotogrametría como *el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable de objetos físicos y su entorno, mediante el proceso de exponer, medir e interpretar tanto imágenes fotográficas como otras, obtenidas de diversos patrones de energía electromagnética y otros fenómenos*.

Otros la han estudiado en profundidad como Schenk (2002), en su libro de *Fotogrametría digital*, José Luis Lerma (2002), Felipe Buill, M. Amparo Núñez (2007a, 2007b), Remondino y El Hakim (2006), Antonio Almagro (1987, 1995, 2002, 2004b, 2010) entre otros, siendo este último miembro del comité de CIPA¹ y colaborador en numerosos congresos de documentación gráfica del patrimonio y que han generado numerosa aportación en este sector. Otros congresos volcados en el desarrollo de esta metodología es el Congreso bianual de Expresión Gráfica Arquitectónica, el Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, EuroMed, International ISPRS Symposium y también revistas como por ejemplo Informes de la Construcción, *Virtual Archaeological Review* y Arqueología de la Arquitectura.

¹ CIPA *Heritage Documentation* (Comité Internacional de Fotogrametría Arquitectónica) es una organización internacional dinámica que tiene responsabilidades dobles: mantenerse al día con la tecnología y la garantía de su utilidad para la conservación del patrimonio cultural, la educación y la difusión. Este doble papel se exhibe en sus organizaciones como el ICOMOS - Consejo Internacional de Monumentos y Sitios y la SIFT - Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección.

Es interesante la labor que hace el Laboratorio de Fotogrametría de la Universidad de Valladolid, ya que cada día publican y mantienen actualizada su página web sobre avances y estudios sobre fotogrametría digital aplicada al patrimonio arquitectónico castellanoleonés.

El desarrollo de métodos de bajo coste versa sobre los nuevos sistemas de fotogrametría automatizados. Uno de los autores más importantes por ser el desarrollador del programa *open source VisualSFM* es Wu (2011). *VisualSFM* es una herramienta de fotogrametría libre que permite realizar nubes de puntos a partir de fotografías no ordenadas y cuyo proceso es el más extendido actualmente.

En la línea de la fotogrametría, la combinación de fotogrametría terrestre con la aérea, es una de las metodologías empleadas para adquirir datos de zonas inaccesibles como cubiertas o zonas ocultas. La utilización de un UAV (Unnamed aerial vehicle) cada vez está más generalizado, y las perspectivas legales empiezan a definirse y puede que en un futuro no muy lejano se convierta en un objeto indispensable para la realización de ciertas tareas. Bajo estas premisas, un documento tenido en cuenta ha sido la tesis de Eisenbeiß (2009) *UAV Photogrammetry*, que abarca la descripción de los tipos de UAV y la aplicación de la metodología a campos diversos como al arqueológico, al arquitectónico y a la agricultura.

Con respecto a la otra técnica utilizada, el láser escáner aplicado al patrimonio, ha ocupado un lugar relativamente reciente. Y en torno a esta técnica se están generando numerosos estudios como los realizados en la UPC por Regot y De Mesa, junto a Buill y Núñez (2006, 2008, 2009, 2012) donde utilizan diversos ejemplos para aplicar esta metodología como la puerta de Antioquía en Alepo o la iglesia de Sant Server en Barcelona. Otras universidades como la de Valencia, han sido pioneros en España en la utilización de esta metodología de la mano de Pablo Navarro (2006, 2011) y su equipo. Además muchos autores han generado estudios sobre documentación a través del láser como Alshawabkeh (2006), Boehler (2003), Lerma et al. (2010), Mañana-Borrazás, Rodríguez y Blanco-Rotea (2008, 2009) y García-Gómez, Fernández de Gorostiza y Mesanza (2011), entre otros.

Los tres siguientes campos de actuación sobre los que se utiliza el modelo tridimensional obtenido por el levantamiento geométrico es la gestión, conservación y difusión del patrimonio.

Para el primero de ellos, el relativo a la gestión, se ha partido del estudio del Sistema de Información PACU, sistema utilizado en la gestión de los bienes de Castilla y León. También ha sido referencia el sistema de gestión SIPHA utilizado para los bienes de Andalucía. La comunidad autónoma de Andalucía es una de las que más invierte en aplicaciones, sistemas y difusión de sus métodos de aplicación sobre el patrimonio cultural de su territorio. Uno de sus medios de difusión es la revista PH cuadernos.

Ante la falta de estandarización en los procesos de la gestión y dentro del desarrollo de los sistemas de información, se ha comprobado como la directiva INSPIRE comienza a exigir una estandarización sobre las edificaciones. Uno de estos estándares es

el OGC CityGML ya usado en algunos municipios de Alemania. Autores que están desarrollando el estándar sobre modelos tridimensionales del patrimonio son Costamagna y Spanó (2013) y Gröger et al. (2006, 2008).

El segundo de los puntos de aplicación del modelo tridimensional, es la conservación del patrimonio arquitectónico. Se han examinado desde normativa legal asociada a la conservación y restauración del patrimonio, cartas y recomendaciones como la Carta de Venecia o la Carta Internacional sobre la conservación y restauración de monumentos y sitios, suscrita en 1964, así como instituciones como el *Instituto Centrale per il Restauro* o hasta críticos de arte y escritores sobre teorías de la restauración, como los italianos Cesare Brandi (1963) y Giovanni Urbani (1973, 2000).

Más aproximaciones sobre teorías y métodos sobre la conservación de los monumentos patrimoniales están recogidas en numerosa bibliografía de Giovanni Carbonara, sobre todo en la colección de *Trattato di restauro architettonico*. Esta compilación abarca el análisis, el diagnóstico de edificios, métodos y técnicas de intervención, así como tecnologías informáticas aplicadas a la conservación del patrimonio. Los autores de estas aplicaciones informáticas son Negri (2008) y Salonia (2003, 2005) con la propuesta de ARKIS, un GIS que permite el seguimiento del bien patrimonial a partir de ortofotografías.

Otros sistemas de información aplicados al patrimonio, tienen como punto de partida el realizado para el Acueducto de Segovia por Jurado (1995) y el aplicado sobre el plan director de la Catedral de Vitoria por Azkarate et al. (2001).

Finalmente, el último punto tratado es la difusión del patrimonio cultural a través de la utilización de modelos tridimensionales. Una de las tecnologías que se utilizan para la difusión y divulgación de bienes y entornos, es la realidad aumentada. La anastilosis virtuales sirve para mostrar edificios desaparecidos y también se basa en la realidad aumentada. Sus principales autores son Jaron Lanier, Tom Caudell y Ronald Azuma (1997). *La realidad aumentada y su aplicación en el patrimonio cultural* es una de las publicaciones que recopila información sobre empresas y actividades dedicadas a la difusión del patrimonio para museos, libros y otras aplicaciones, cuyo autor es Ruiz Torres (2013). En este libro, el autor se refiere a planteamientos más puramente tecnológicos de la realidad aumentada y su funcionamiento, suponiendo una toma de contacto en la praxis de la misma. Salvo en el campo de la realidad aumentada, en el resto de entornos dedicados a la difusión del patrimonio, existe escasa documentación.

1.3. OBJETIVOS DE ESTUDIO

El principal objetivo que persigue esta tesis es profundizar en la metodología de adquisición de datos relativa a la documentación del patrimonio arquitectónico, y más en concreto, en la generación de un modelo tridimensional, cuya importancia

radica en la captura fiable y fidedigna de la realidad del objeto para su utilización en diversos campos de aplicación concernientes del patrimonio cultural, como es el de la gestión, conservación y de la difusión del patrimonio. Gestión en el sentido de registro, catálogo y almacenamiento de datos de varia índole referente al bien. Conservación en el sentido de mantenimiento, monitorización y seguimiento de procesos de deterioro producidos por diversas acciones y por último, difusión en la concepción de la puesta en valor y transmisión del bien a futuras generaciones.

El objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos más concretos:

1. Constituir un marco teórico, con la delimitación del concepto de patrimonio como punto de partida, estudiando la normativa legal, administraciones que giran en torno a éste y el análisis de los campos de aplicación propuestos: gestión, conservación y difusión del patrimonio.
2. Establecer un análisis de las técnicas y métodos usados para la documentación gráfica del patrimonio arquitectónico, con una comparativa de ventajas e inconvenientes en la obtención del modelo tridimensional.
3. Plantear una metodología para la creación de un modelo de datos en base a información espacial a través de estándares abiertos e interoperables como CityGML (estándar OGC).
4. Proponer un procedimiento para la creación de un Sistema de Información Monumental a partir modelos tridimensionales con ayuda de las tecnologías SIG para que sean de utilidad en el desarrollo de hipótesis dirigidos a análisis patológicos, de procesos de conservación y que resulte eficiente en el seguimiento, control sistemático del patrimonio.
5. Formular las técnicas que se basan en modelos tridimensionales concernientes en hacer más accesible el patrimonio a la sociedad a través de productos patrimoniales.

La importancia de esta investigación consiste en la utilización del mismo modelo obtenido por técnicas como la fotogrametría o el láser escáner. Después aplicarlas a diversos campos de una manera directa, utilizando el modelo bruto obtenido por cualquiera de las dos técnicas. No obstante, en algún caso ha sido necesaria la realización de una simplificación a formas simples, como en el caso de la conservación porque el *software* empleado todavía es imposible la importación de dicho modelo.

1.4. ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Según las argumentaciones expuestas anteriormente, la estructura de la presente tesis se articula en tres partes, la primera consta del marco teórico, la segunda, de la metodología de intervención sobre el patrimonio arquitectónico de Ágreda y en la tercera se disponen las conclusiones. En consecuencia se estructura de la siguiente forma.

La primera parte está compuesta por los capítulos dos, tres, cuatro, cinco y seis. El segundo capítulo aborda el concepto de Patrimonio, patrimonio arquitectónico, su evolución y marco histórico, incluso la normativa vigente, las principales directrices internacionales y modelos administrativos. El tercero, establece el marco teórico sobre la documentación del patrimonio y las técnicas de captura de datos. Seguidamente, el cuarto, se centra en el análisis de los sistemas de gestión y planes sobre catalogación del patrimonio arquitectónico. A continuación, en el quinto se estudian los principios e instrumentos dedicados a la conservación y por último, en el sexto, los fundamentos sobre la transmisión, valorización y difusión del patrimonio.

La segunda parte está compuesta por los capítulos siete, ocho, nueve y diez. En el séptimo de los capítulos se desarrolla el estudio referente a la representación gráfica, el levantamiento arquitectónico y sobre cuáles son los procedimientos iniciales para desarrollar un procedimiento metodológico. Para ello se estudian las distintas técnicas actuales destinadas a la elaboración de un modelo tridimensional y la obtención de los diferentes productos asociados, cuya metodología y resultado será analizada.

El octavo estudia la gestión del patrimonio arquitectónico tridimensional a través de la propuesta de utilización de estándares abiertos para mejorar el ámbito de la interoperabilidad a través del estándar abierto CityGML (estándar OGC). El modelo de datos está basado por un lado, en información espacial tridimensional y por otro, permite almacenar información temática de la catalogación arquitectónica.

El noveno, está dedicado a la conservación del patrimonio a través de Sistemas de Información Monumental que utiliza la tecnología SIG sobre el modelo tridimensional.

El décimo, muestra la aplicación del modelo tridimensional adquirido sobre diversas aplicaciones referentes a la difusión del patrimonio como la realidad aumentada, *Google Earth*, panoramas esféricos, visitas virtuales, entornos web y animaciones virtuales interactivas.

En último lugar, la tercera parte está compuesta por los capítulos once, doce, trece, catorce y quince. El onceavo, expone las conclusiones y futuras líneas de investigación. El doceavo, la difusión del trabajo en revistas, ponencias en congresos y cursos relacionados con la representación gráfica del patrimonio. El siguiente la bibliografía utilizada y consultada y en último lugar el Anexo 1 con referencia a la historia de Ágreda, sus monumentos y en detalle, aquellos que han sido objeto de estudio y el Anexo 2, con las referencias a las figuras.

PARTE I: MARCO TEÓRICO

2. EL PATRIMONIO Y SU MARCO TEÓRICO

2. EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y SU MARCO TEÓRICO

Dado el marcado carácter técnico de este estudio de investigación, se hace conveniente explicar las bases conceptuales sobre las que se apoya el trabajo. Por ello, es necesario aclarar conceptos sobre “patrimonio”, ámbitos de aplicación, normativa, directrices sobre las que se estructuran los criterios de gestión, conservación y difusión del patrimonio y finalizar el capítulo con los conceptos de representación y las concepciones de las distintas técnicas utilizadas en la documentación del patrimonio.

2.1. EL PATRIMONIO CULTURAL: DEFINICIÓN

Parece relevante comenzar el trabajo por la definición y análisis del concepto de Patrimonio Cultural, los ámbitos de aplicación y los elementos que lo componen.

El libro escrito por Querol (2010) muestra la siguiente definición: *Patrimonio Cultural es el conjunto de bienes muebles, inmuebles e inmateriales que hemos heredado del pasado y que hemos decidido que merece la pena proteger como parte de nuestras señas de identidad social e histórica*

La palabra patrimonio viene del latín y significa “aquello que proviene de los padres”. Según el diccionario de la Real Academia, patrimonio, son los bienes que poseemos, o los bienes que hemos heredado de nuestros ascendientes o bien, según define Casares (1984) los *bienes propios adquiridos por cualquier título*. Cuando le acompaña la palabra Cultural, añade, el valor de todas las manifestaciones o producciones creativas del ser humano, las de ayer y las de hoy, las más bellas, artísticas y valoradas. La palabra cultura desde el punto de vista antropológico, significa, una forma particular de vida de un pueblo o de un período y desde el punto de vista sociológico, se refiere a la suma de conocimientos, creencias, manifestaciones artísticas, etc. Hablamos de patrimonio cultural cuando nos referimos *a los bienes de los que no tenemos por qué ser propietarios directos, sino que hablamos de una propiedad colectiva, de la sociedad y que disfrutamos, en el caso de los españoles, por un derecho reconocido en nuestra Constitución* (García 2011). Así, podemos establecer que Patrimonio significa “aquellos bienes preciados, heredados del pasado y transmitidos a generaciones futuras, cuyo valor, es identidad de la sociedad”. A veces, también vemos la palabra Patrimonio acompañada de Histórico, en el sentido que se refiere sólo a los hechos y acontecimientos del pasado, y gracias a él podemos construirlo y explicarlo. Pero en esta realidad administrativa y legal, se pueden considerar a ambos, Patrimonio Cultural y Patrimonio Histórico, como sinónimos.

El patrimonio es cosa de todos; la contemplación, el disfrute y la motivación son sensaciones y experiencias del usuario que respetan y valoran del patrimonio. La UNESCO define el patrimonio cultural en la Conferencia Mundial sobre el Patrimonio Cultural², de Méjico de 1982, como:

El patrimonio cultural de un pueblo comprende las obras de sus artistas, arquitectos, músicos, escritores y sabios, así como las creaciones anónimas, surgidas del alma popular, y el conjunto de valores que dan sentido a la vida, es decir, las obras materiales y no materiales que expresan la creatividad de ese pueblo; la lengua, los ritos, las creencias, los lugares y monumentos históricos, la literatura, las obras de arte y los archivos y bibliotecas.

El patrimonio cultural nace de los devenires históricos del siglo XVIII y de las revoluciones y movimientos sufridos en el siglo XIX. Desde los primeros esbozos de valoración de los restos del pasado, hasta lo que hoy conocemos como patrimonio cultural, ha habido un largo camino de conceptualización e institucionalización donde han tenido mucho que ver los bienes de la Iglesia y de la monarquía, considerados como los de mayor riqueza artística y arquitectónica. A mediados del siglo XX comienza a tener importancia el contexto, el lugar que ocupa y a la función que desempeña, incluso más que su valor y su belleza, porque no sólo se tienen que proteger las grandes obras, sino también las modestas. Por ello, es importante leer el preámbulo de la Ley de 25 de junio de 1985³:

El patrimonio Histórico Español es una riqueza colectiva que contiene las expresiones más dignas de aprecio en la aportación histórica de los españoles a la cultura universal. Su valor lo proporciona la estima que, como elemento de identidad cultural, merece la sensibilidad de los ciudadanos. Porque los bienes que lo integran se han convertido en patrimoniales debido exclusivamente a la acción social que cumplen, directamente derivada del aprecio con que los mismos ciudadanos los han revalorizado.

En consecuencia y cómo objetivo último, la Ley no busca sino el acceso a los bienes que constituyen nuestro Patrimonio Histórico. Todas las medidas de protección y fomento que la Ley establece sólo cobran sentido si, al final, conducen a que un número cada vez mayor de ciudadanos pueda contemplar y disfrutar las obras que son herencia de la capacidad colectiva de un pueblo. Porque en un Estado democrático estos bienes deben estar adecuadamente puestos al servicio de la colectividad en el convencimiento de que con su disfrute se facilita el acceso a la cultura, y que ésta, en definitiva, es camino seguro hacia la libertad de los pueblos.

² Declaración de México sobre las políticas culturales. [http://portal.unesco.org/culture/es/files/35197/11919413801mexico_sp.pdf/mexico_sp.pdf].

³ La normativa estatal que regula el patrimonio histórico-artístico en España es la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (LPHE) publicada en el BOE de 29 de junio de 1985. La Ley dispone que los bienes más relevantes del Patrimonio histórico, deben ser inventariados o declarados de interés cultural.

En resumen, el patrimonio se define por las siguientes características: es un bien de razón social, para el disfrute de todos, no regenerable, es decir, que si se destruye no se vuelve a materializar y porque pertenece a contextos sociales olvidados, sobre todo los de carácter arqueológico. De esta forma, Olaia Fontal (2003) define las características de los bienes culturales como su valor de uso, su valor material, su valor simbólico o relacional, su valor histórico y su valor emotivo. Además es significativo conocer la importancia del patrimonio y entender cómo esta herencia cultural desaparece rápidamente, muchas veces sin ser conocido debidamente, suponiendo por ello la pérdida de saberes de civilizaciones y culturas antiguas. En la concienciación sobre la protección y tutela de éste, durante el último siglo se han dispuesto normativa, cartas y recomendaciones como se verá a continuación. Además, el patrimonio cultural como se verá en este capítulo, cuenta con una larga y compleja evolución. Sus definiciones están directamente ligadas a ideologías, escuelas, movimientos e ideas políticas que hallaron en el patrimonio una fuente de inspiración, de memoria, de legado y también de rechazo.

2.2. TIPOS DE PATRIMONIO Y EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Lo que diferencia a los tipos de bienes patrimoniales son su naturaleza. Así, por su naturaleza se puede distinguir entre muebles, inmuebles o inmateriales. Los bienes muebles son aquellos que podemos trasladar de un lugar a otro, sin por ello perder la identidad de bien cultural. No están ligados al suelo, como por ejemplo, un cuadro, y se identifican por lo general dentro del Patrimonio Artístico. Los bienes inmuebles son aquellos que sí están ligados al suelo, no pueden ser trasladados y se puede vivir en ellos, como por ejemplo, un edificio. El suelo en el que se encuentran los bienes inmuebles desempeña un papel definidor y contextual porque el entorno que les rodea, les confiere personalidad al bien y viceversa. Por último, los bienes inmateriales, son aquellos invisibles en los que no se puede intervenir, no se pueden restaurar ni conservar y son aquellos que tienen que ver con canciones, bailes o fiestas.

Los elementos que forman parte del Patrimonio Histórico Español, quedan definidos en el artículo primero de la Ley del Patrimonio Histórico Español:

Integran el Patrimonio Histórico Español los inmuebles y objetos muebles de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico. También forman parte del mismo el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques, que tengan valor artístico, histórico o antropológico.

O como puede observarse en la figura 1.

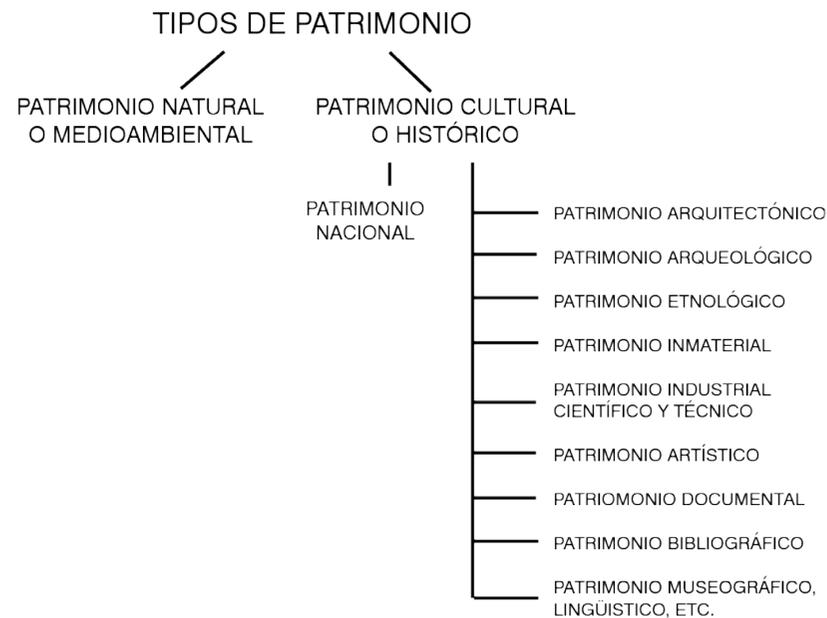


Figura 1. Tipos de patrimonio. Fuente: elaboración propia.

Existe un calificativo global que enmarca a todos estos géneros del patrimonio que es el de “integral”. Este concepto lo defienden Querol y Martínez (1996), como “integral” lo componen el patrimonio cultural y el natural, es decir, aquel patrimonio producido por el hombre y el producido por la naturaleza porque realmente son la esencia de los valores sociales y culturales que transmite el patrimonio. De esta revisión, aquel que va a ser objeto de estudio y que resulta de interés para el desarrollo de esta Tesis, es el arquitectónico porque es patrimonio inmueble y requiere de medida y representación gráfica para su tutela.

Así el patrimonio arquitectónico, monumental o construido como se indica en el Título II de la Ley del Patrimonio Histórico Español (LPHE), dentro del art. 14.1, es aquel que tiene la consideración de inmueble:

Para los efectos de esta Ley tienen la consideración de bienes inmuebles, además de los enumerados en el artículo 334 del Código Civil, cuantos elementos pueden considerarse consustanciales con los edificios y formen parte de los mismos a de su exorno, o lo hayan formado, aunque en el caso de poder ser separados constituyan un todo perfecto de fácil aplicación a

otras construcciones o a usos distintos del suyo original, cualquiera que sea la materia de que estén formados y aunque su separación no perjudique visiblemente al mérito histórico o artístico al que están adheridos.

El art. 14. LPHE es una transcripción del art. 4 del Real Decreto-ley de 9 de Agosto de 1926, adoptando incluso el término de “exorno”, sinónimo de adorno.

Los bienes inmuebles que figuran relacionados con el art. 334 del Código Civil son *cuantos elementos puedan considerarse consustanciales con los edificios y formen parte de los mismos o de su exorno, o lo hayan formado*. En consecuencia, son dos los requisitos exigidos para que puedan englobarse dentro de la categoría de los bienes inmuebles, la consustancialidad con el edificio que se trate y el formar parte de los mismos.

El art. 334.4 del Código Civil considera además como bienes inmuebles *las estatuas, relieves, pinturas u otros objetos de uso u ornamentación, colocados en edificios o heredades por el dueño del inmueble en tal forma que revele el propósito de unirlos de un modo permanentemente al fundo*. En estos casos la consideración de bienes inmuebles no viene de la inseparabilidad, sino de su destino en el uso o la ornamentación. Y en cuanto en tanto, esta separación pueda hacerse sin perjudicar visiblemente el mérito histórico o artístico del inmueble al cual están adheridos.

Además, el art. 14.1 de la Ley del Patrimonio Histórico Español, considera como bienes inmuebles a aquellos elementos de la estructura de un edificio que, contribuyendo a formar un todo acabado con el edificio e integrando por tanto la estructura del mismo, son susceptibles de ser separados, sin por ello perjudicar, al mérito o valor histórico o artístico del inmueble.

Aunque el bien inmueble incluye además del patrimonio arquitectónico, también al arqueológico y al etnográfico; la Convención de Granada⁴ de 1985 expresa detalladamente que los bienes inmuebles que comprenden el patrimonio arquitectónico son los monumentos, los conjuntos arquitectónicos y los sitios. Estableciendo por monumento: *todas las realizaciones especialmente relevantes por su interés histórico, arqueológico, artístico, científico, social o técnico, comprendidas las instalaciones o los elementos decorativos que constituyen parte integrante de estas realizaciones*. Por conjunto arquitectónico: *grupos homogéneos de construcciones urbanas o rurales relevantes por su interés histórico, arqueológico, artístico, científico, social o técnico y suficientemente coherente como para ser objeto de una delimitación topográfica*. Y por sitios: *obras combinadas del hombre y de la naturaleza, parcialmente construidas y que constituyan espacios suficientemente característicos y homogéneos como para ser objeto de una delimitación topográfica, relevantes por su interés histórico, arqueológico, social o técnico*. Y son a los que se va a hacer alusión a lo largo del trabajo.

⁴ Convención para la Salvaguarda del Patrimonio Arquitectónico de Europa o Convención de Granada, 1985. [http://ipce.mcu.es/pdfs/1985_Convencion_Granada.pdf].

2.3. CONTEXTO HISTÓRICO: EVOLUCIÓN DE PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO

La génesis del concepto de patrimonio, su protección y tutela viene marcada por los acontecimientos sufridos a lo largo de la historia. En este apartado se quiere mostrar una pequeña exposición de su evolución porque estos hechos han sido un punto de partida a normativas y legislación sobre conservación, protección y otros aspectos importantes referentes del patrimonio.

La concepción del patrimonio en su sentido histórico y artístico tuvo sus orígenes en el mundo griego. Las obras de arte más importantes se formaban en torno a la imagen de la divinidad, considerándose a los templos griegos como depositarios de objetos donados por devotos o ciudades. Los sacerdotes de los templos eran los encargados de inventariar, custodiar y conservar dichos objetos. Mucho más tarde, llegó la religión cristiana y también se preocupó de custodiar lugares sagrados para los objetos donados, dando paso así a la Edad Media donde se crearon las primeras cámaras de los tesoros y relicarios considerados como los antecedentes de los museos. También en este período, aparecieron las primeras referencias a la conservación de construcciones, como murallas y obras de defensa.

En España, gracias al reinado de Alfonso X el Sabio, durante el siglo XIII, en plena época de la Reconquista, se comenzó a redactar una serie de normas, las célebres "Partidas". Este es el primer atisbo de preocupación por la conservación de los bienes culturales por parte de las instituciones más ricas, la Iglesia Católica.

Más adelante, en el Renacimiento, los humanistas redescubrieron la Antigüedad y trataron de conservar todo lo que tuviera relación con el mundo grecolatino. En 1262, el papa Pío II Piccolomini, emitió un documento llamado *Cum aliam nostram urbem*. Este documento expresaba que los monumentos eran vestigios de la Antigüedad y testimonios irremplazables del pasado, debían conservarse para que las generaciones venideras pudieran gozar de su grandiosidad, transmitieran a la ciudadanía los valores morales de quienes los construyeron y recordasen la fragilidad de la empresa humana. Así continuó en 1420 el papa Martín V en Roma, con esfuerzo para recuperar la Roma Imperial ya desaparecida. Para ello promovió la conservación de viejos edificios y emitió leyes para protegerlos (Choay 2007).

También, contribuyeron a esta valoración algunos acontecimientos culturales del siglo XVIII, como la creación de las Reales Academias de Historia y de Bellas Artes de Madrid y de otras ciudades españolas. Del movimiento romántico, a finales del XVIII se puede decir que, Carlos III inició la realización de las excavaciones en Herculano, Pompeya, Estabia y otros eruditos, forjaron numerosas referencias a las ruinas de civilizaciones extintas y a la antigüedad de la España dieciochesca.

Durante la Ilustración renació de nuevo la preocupación por la conservación de lo antiguo y aumentó el concepto de legado común marcado por los vandalismos de la Revolución Francesa en 1789. Durante este periodo se atribuyó el nombre de Patrimonio

Nacional al conjunto de bienes patrimoniales de la monarquía, estableciéndose como un patrimonio de dominio público y accesible a todos los ciudadanos para su disfrute y educación.

En 1802, se publicó una Real Cédula, por la que debían comunicar a la Real Academia de la Historia los hallazgos de antigüedades descritas como “Monumentos Antiguos” con unas tímidas medidas de protección. Seguidamente, en 1820 en Francia se aceptó la acepción de “Monumento Histórico” por la aparición en el texto de Aubin-Louis Millin, *Antiquités nationales*. Más adelante, en 1834 se creó la Sociedad para la Conservación de los Monumentos Históricos. Según N. Abbagnano, a mediados del siglo XIX se añadieron a estas valoraciones una apariencia científica al dotarlas con caracteres de inventario y de cierta sistematización. Pero la situación en España por esta época iba con cierto retraso con respecto a Francia, el hecho de que no hubiera una legislación para la conservación y vigilancia del patrimonio, provocó el deterioro y la pérdida de muchas obras de arte debido a la guerra de la Independencia (1808 -1814), al Trienio Liberal (1820-1823), y las sucesivas desamortizaciones, la de las Cortes de Cádiz (1811-1812), la de Mendizábal (1835-36) y la Madoz (1854-1856) donde se perdieron numerosas propiedades de la iglesia.

Ya en 1837, se crearon en España unas comisiones científicas y artísticas por cada provincia. Estas comisiones tenían como objetivo reunir los inventarios particulares y de los conventos suprimidos, para elaborar un inventario general que diera lugar a la creación de los museos y bibliotecas provinciales, consiguiendo así evitar la destrucción del tesoro artístico. De esta forma se creó la Comisión Central de Monumentos en 1844, donde se catalogaba e inventariaba el patrimonio histórico-artístico. Consiguieron elaborar una lista de edificios, monumentos y objetos artísticos que *bien por su belleza de su construcción, bien por su antigüedad, por su origen, el destino que han tenido o los recuerdos históricos que ofrecen*, merecieran ser conservados (Ordieres 1995) y poder evitar su destrucción, tanto en el presente como en el futuro. Estos catálogos contaban además con descripciones y dibujos de todos los edificios, monumentos y antigüedades existentes en cada provincia que mereciesen ser conservados. Ese mismo año, los antes considerados “Monumentos Históricos”, pasaron a considerarse “Monumentos Nacionales”.

Más tarde, las Reales Ordenes de 1850 aplicaron la técnica de protección a los edificios del Estado. Así, el Gobierno mediante el Real Decreto del 1 de diciembre de 1860, nombró a una serie de arquitectos provinciales que debían encargarse de la conservación y restauración de los monumentos. Para ello, comenzaron a confeccionar los antecesores a los catálogos monumentales que debían velar por la restauración siguiendo las teorías del momento. En ese momento además se creó la Escuela Especial de Arquitectura, ésta reivindicaba el fin de la destrucción de los monumentos y la revitalización de la arqueología. Impulsaron la iniciativa de crear viajes artísticos a monumentos situados en Toledo, Segovia y Salamanca para dibujarlos y escribir de su historia. De esos viajes se publicó en 1859 “Monumentos arquitectónicos de España” (Hernández 2002).

Por otro lado, en 1866 se creó el Archivo Histórico Nacional. Este recogía los fondos documentales de carácter administrativo e histórico procedentes de las desamortizaciones a la iglesia católica para más adelante elaborarse un inventario general con todos

los edificios públicos propiedad del Estado y los que debieran conservarse se declararían como Monumento Nacional. La primera ley sobre la protección de monumentos históricos se promulgó en 1887 (Audrerie 1997; Dussaule 1974).

A lo largo del siglo XIX, se comienza a entender la restauración del patrimonio histórico como una disciplina científica. En sus inicios, surgen diversas teorías y movimientos sobre la forma de intervenir en el patrimonio. Estas teorías han marcado la historia de la conservación para transmitir el legado a generaciones futuras.

Surgieron las primeras teorías sobre la restauración (Carbonara 1997; Zanardi 1999; Lumia 2003; Bellini et al. 2006) de la mano de Eugène-Emmanuel Viollet-Le-Duc (1814-1879) que abogaba por la restauración. Dictó los principios teóricos de la restauración arquitectónica que materializó en una serie de edificios medievales. En el artículo *Restauration*, dentro del *Dictionnaire raisonné* publicado en 1866, definió que *restaurar un edificio no significa mantenerlo, repararlo o rehacerlo, sino restituirlo a su forma prístina que tal vez no se haya dado nunca*. No mostraba al monumento *tal como fue*, sino *tal como debiera haber sido*. Al contrario, Ruskin (1819-1900) que era un poeta, sociólogo y crítico de arte, abogaba por la conservación de los monumentos porque era una responsabilidad moral. Mantenía que quien trata de conservar la *autenticidad* del objeto histórico, garantiza la conservación y transmisión de sus *cualidades morales* (Hernández 2002).

Seguidor de las ideas Ruskin, fue William Morris (1834-1896). En 1877 escribió un manifiesto cuestionando las acciones de la “restauración estilística” de Viollet-Le-Duc. Para ello, reunió a un grupo de intelectuales de esta posición conservacionista y formó *The Society for the Protection of Ancient Buildings*. Seguidamente, apareció la figura de Camillo Boito (1836-1914), escritor y crítico de arte, que intentó conciliar las doctrinas de Viollet-Le-Duc y Ruskin. Propuso que el monumento tenía que ser identificado dentro de una época y estilo para el que fue construido, además se tenían que diferenciar las transformaciones sufridas a lo largo del proceso de consolidación. Por ello, era preferible *dejar incompleto e imperfecto todo lo que se encuentra incompleto e imperfecto*, y siempre sería mejor *conservar* que *restaurar*, siguiendo a la opinión de Ruskin. De estas ideologías surgieron posteriormente cartas y recomendaciones.

A principios del siglo XX, la preocupación internacional por la conservación del patrimonio se debe en gran parte a la destrucción sufrida en el patrimonio, provocado por las fuertes intervenciones en las tramas históricas, las agresiones de reconstrucción, restauración y la constante expoliación. En España se desarrollan numerosas órdenes y decretos que ya hacen referencia a la labor de registrar el patrimonio, como las leyes parciales como el Real Decreto de 1900, que ordenaba *la catalogación completa y ordenada de las riquezas históricas de la nación*; y de 1902, la formación del Catálogo Monumental y Artístico de la Nación realizado por provincias; como la Ley Conservación de Monumentos Históricos Artísticos de 1915 donde aparece la catalogación y la declaración formal de un bien como “Monumento”.

Con la necesidad de ver al patrimonio como un bien de valor universal y con la consecuente exigencia de protegerlo más allá de sus fronteras político-administrativas, en 1931, Giovannoni (1873-1947) ayuda a redactar la Carta de Atenas⁵. Ésta será la primera normativa internacional de conservación y restauración de Monumentos Históricos, donde más tarde se convertirá en la *Carta italiana del restauro* de 1972.

La primera ley que se formuló en España para la protección del patrimonio fue en el período de la Segunda República (1931-1936), la Constitución republicana de 1932 atribuyó al Estado el deber de conservar el Patrimonio Histórico del país y para ello pronunció la Ley de Patrimonio Histórico-Artístico Nacional, del 13 de mayo de 1933, que permaneció vigente hasta 1985 (Tapia 2011).

En esta época los inventarios pasaron a considerarse *como instrumentos de gestión para el conocimiento, tutela y mantenimiento del patrimonio, con un sentido claramente moderno de los objetivos y finalidades de conservación*. Sirvió para individualizar los bienes de ser susceptibles de ser protegidos, pero no de las medidas protectoras ya que les resultan aplicables y más bien trataron de evitar la pérdida o desaparición de bienes históricos (Alonso 2005). En este punto, se marcó la diferenciación entre Catálogos, específico para los monumentos e Inventarios, propios para los bienes muebles.

A partir de la Guerra Civil Española (1936-1939) gran parte de las ciudades quedaron destruidas y tuvieron que dedicarse a la reconstrucción de muchos monumentos que fueron derribados. Pero no fue hasta el final de la Segunda Guerra Mundial, durante la reconstrucción de las ciudades devastadas por conflicto bélico, cuando resurge la preocupación universal por la protección y conservación patrimonial. En 1945 se funda la UNESCO⁶, el ICOMOS⁷, el ICOM⁸ y el Consejo de Europa⁹. Dichos organismos han celebrado conferencias, encuentros en relación a la protección y conservación del patrimonio. Todas las normativas surgidas de estos encuentros han marcado unos principios teóricos que han llevado a una nueva conceptualización del patrimonio.

El actual concepto de “patrimonio”, se establece a partir del siglo XX, como el conjunto de bienes y derechos cuya titularidad corresponde a la administración pública con un uso público (Barrero 1990). Así “patrimonio” incorpora tres principios: el de la conservación; su valor estético, histórico y cultural; y un legado común (Tapia 2011). Según el artículo 46 de la Constitución Española, *los poderes públicos garantizarán la conservación y promoverán el enriquecimiento del patrimonio histórico, cultural y artístico de los pueblos de España cualquiera que sea su régimen jurídico y su titularidad*.

⁵ Carta de Atenas. Véase apartado 2.2.2.1.

⁶ UNESCO. Véase apartado 2.3.6.1.

⁷ ICOMOS. Véase apartado 2.3.6.6.

⁸ ICOM. Véase apartado 2.3.6.7.

⁹ Consejo de Europa. Véase apartado 2.3.6.2.

En último lugar, se publica la Ley 16/1985, de 25 de junio de 1985, del Patrimonio Histórico Español, vigente hasta nuestros días. Con esta ley, el concepto de patrimonio se extiende a otros tipos de patrimonio. Cita en su preámbulo, que *el Patrimonio Histórico Español es el principal testigo de la contribución histórica de los españoles a la civilización universal y de su capacidad creativa contemporánea*.

Cada momento histórico ha tenido su propio concepto de patrimonio pero la valoración, la defensa y la legitimación de nuevos valores patrimoniales denominan hoy al patrimonio cultural, y no responden necesariamente a valores artísticos sino también a valores sociales, materiales e inmateriales, y múltiples manifestaciones que permiten explicar los rasgos de identidad de un determinado colectivo.

2.4. NORMATIVA LEGISLATIVA

Actualmente, el patrimonio cultural en España cuenta con la protección de la legislación española y de las organizaciones internacionales como la UNESCO. La legislación en España responde a tres grandes escalas administrativas: Administración del Estado (leyes estatales, Ministerio de Cultura), patrimonio de las Comunidades Autónomas (leyes autonómicas), y el patrimonio de los propios municipios¹⁰ (Planes Reguladores, normativa urbanística).

En España además existe el Patrimonio Nacional. Este patrimonio engloba los bienes de la monarquía. Es una entidad dependiente del Ministerio de la Presidencia que gestiona los bienes cedidos al Estado por la corona, como palacios, conventos, monasterios, jardines y colecciones que no forman parte necesariamente del Patrimonio Histórico Español.

La historia de la protección del patrimonio artístico cultural, tiene varios siglos de antigüedad como se ha visto en el capítulo anterior. Las leyes estatales que rigen actualmente su protección y conservación, deben remitirse a la Constitución de 1978. Por ejemplo, en el art. 46, mantiene la colaboración de todos los poderes públicos y aparecen las denominaciones de histórico, cultural e artístico como sufijos en una normativa de carácter nacional:

Los poderes públicos garantizarán la conservación y promoverán el enriquecimiento del patrimonio histórico, cultural y artístico de los pueblos de España y de los bienes que lo integran, cualquiera que sea su régimen jurídico y su titularidad. La ley penal sancionará los atentados contra este patrimonio.

¹⁰ El patrimonio de los propios municipios y su normativa se verá en el capítulo 2.5.1.3.

La ley del Patrimonio Histórico Español ha creado un escenario importante para la protección del patrimonio histórico, preservación de la memoria, valoración del mismo y su transmisión en el futuro. El preámbulo de la ley, define al Patrimonio Histórico español como:

El principal testigo de la contribución histórica de los españoles a la civilización universal y de su capacidad creativa contemporánea (...) que como elemento de identidad cultural, merece a la sensibilidad de los ciudadanos, puesto que los bienes que lo integran se han convertido en patrimoniales debido exclusivamente a la acción social que cumplen, directamente derivada del aprecio con que los mismos ciudadanos los han revalorizado.

El patrimonio histórico supone un estímulo a la creatividad de las generaciones presentes y futuras, por la admiración de las grandes creaciones artísticas, viendo impulsado el espíritu de la emulación, con el beneficio para el desarrollo de la cultura nacional y universal. Esta normativa establece que los monumentos interesan *al honor, antigüedad y nombre de los pueblos mismos*, lo que justifica la intervención de los entes públicos en su régimen y preservación.

La Ley 16/1985 pone fin a una compleja situación legislativa anterior, en la que existían normas yuxtapuestas, con finalidades diversas. Así, la actual ley asegura una protección total a todo tipo de patrimonio cultural.

2.4.1. NORMATIVA ESPAÑOLA

2.4.1.1. LEY DEL PATRIMONIO HISTÓRICO ESPAÑOL

El concepto y también la evolución del patrimonio vienen ligados a las múltiples leyes que se han aprobado a lo largo del siglo pasado. Los inicios de la Ley de Patrimonio Histórico Español se remontan al año 1883 cuando se proclama la ley de Antigüedades (Navarro 1897), entonces en una obra importaba el valor de la antigüedad, el valor histórico y el valor artístico (Barrero 1990). Posteriormente, se aprueban una serie de leyes y decretos como, con la ampliación de los Estudios Españoles al extranjero, el 7 de julio de 1911 se aprueba la ley de Excavaciones Arqueológicas (Hernández 2002), en 9 de agosto de 1926, el real decreto-ley sobre la protección y conservación de la riqueza artística, la ley del 13 de mayo de 1933, patrimonio artístico nacional y por último, su reglamento de 16 de abril de 1936 (conocida como la ley del Tesoro Artístico).

La primera referencia al patrimonio histórico español la hace la Constitución de 1931 en su artículo 45:

Toda riqueza artística e histórica del país, sea quien fuese su dueño, constituye Tesoro Cultural de la Nación y estará bajo la salvaguardia del Estado, que podrá prohibir su exportación y enajenación y decretar las expropiaciones legales que estimase

oportunas para su defensa. El estado organizará un Registro de la riqueza artística e histórica, asegurará su celosa custodia y atenderá a su perfecta conservación. El Estado protegerá también los lugares notables por su belleza natural o por su reconocido valor artístico e histórico.

La Ley de 13 de mayo de 1933, sobre la defensa, conservación y acrecentamiento del Patrimonio Histórico-Artístico Nacional se concibió para dar respuesta al mandato constitucional, con el fin de poner orden a la cantidad de decretos y normativas. Tuvo una vigencia de casi medio siglo siendo sólo parcialmente modificada mediante diversos decretos-ley y órdenes (Ballart y Tresserras 2001). Se trata además de un texto legal que perduró hasta que se publicó la vigente de 1985. Sus características principales eran la definición del Patrimonio con una base cronológica, y la protección de los bienes muebles e inmuebles de interés artístico, arqueológico, paleontológico o histórico, con más de cien años de antigüedad. También se estableció como máximo grado de declaración la de Monumento Histórico-Artístico, Conjunto Histórico-Artístico y Paraje Pintoresco (Querol 2010).

Así pues, la Ley 16/1985 pone fin a la vigencia de normas muy antiguas, dictadas en periodos muy distintos y cuya heterogeneidad impedía la correcta interpretación y aplicación del régimen vigente. Esas leyes anteriores son:

- la Ley de 7 de julio de 1911, sobre excavaciones arqueológicas,
- el Real Decreto-ley de 9 de agosto de 1926, sobre protección, conservación y acrecentamiento de la riqueza artística,
- la Ley de 10 de diciembre de 1931, sobre enajenación de bienes artísticos, arqueológicos e históricos de más de cien años de antigüedad,
- la Ley de 13 de mayo de 1933, sobre defensa, conservación y acrecentamiento del patrimonio histórico-artístico,
- la Ley de 22 de diciembre de 1955, sobre conservación del patrimonio histórico-artístico,
- el Decreto 1641/1959, de 23 de septiembre, sobre exportación de objetos de valor e interés arqueológico o artístico y de imitaciones o copias,
- la Ley 26/1972, de 21 de junio, sobre la defensa del tesoro documental y bibliográfico de la nación,
- el Real Decreto 2832/1978, de 28 de octubre, sobre el uno por ciento cultural.

La actual Ley 16/1985, de 25 de Junio, del Patrimonio Histórico Español se estructura en el título preliminar con una serie de disposiciones generales y nueve títulos. Las características principales de esta ley son, según Hernández (2002) en primer lugar, la descentralización en la gestión del patrimonio histórico para una distribución de competencias entre el Estado y las comunidades autónomas. En segundo lugar, una ampliación conceptual del patrimonio con carácter más unitario. En tercer lugar, la definición de los distintos niveles de protección según diversas categorías legales y por último el acceso a todos los ciudadanos a la contemplación y disfrute de la memoria colectiva del pueblo.

Además amplía el contenido del Patrimonio Histórico incluyendo los bienes culturales que no son “artísticos” ni “valiosos”, como los no físicos, danzas, músicas y costumbres. Defiende así la protección de todos estos bienes por encima de cualquier factor jurídico, con independencia del carácter de propiedad, como los bienes de la Iglesia, los particulares o los de propiedad pública, los que se encuentran en el interior de un museo y los que todavía no se han descubierto (Querol 2010).

Una de sus principales aportaciones es la de Bien Cultural. Este concepto nace de la doctrina jurídica italiana de la Comisión de Franceschini y reúne al conjunto de testimonios del pasado merecedores de atención. Esta comisión propone una definición abierta y general de bien cultural y como concepto global sustituye la enumeración y la reiteración de elementos singulares del patrimonio. Otra contribución es la catalogación científica como una de las actividades de la Administración, y consideradas como una de las más importantes de entre sus actividades. Además, la ley española reconoce dimensión social del patrimonio. Dispone que pueden coexistir y sobreponerse titularidad pública y privada y hacer recaer en el Estado su tutela, propiciando el derecho del disfrute colectivo de los bienes del patrimonio cultural.

Uno de los artículos más importantes de la presente ley es el artículo 1. En él expresa que los bienes más relevantes deberán ser inventariados o declarados Bienes de Interés Cultural (BIC). Las categorías de importancia son, Bien de Interés Cultural que es el máximo nivel de protección y se inscriben en el Registro de Interés Cultural, después se encuentran los bienes muebles inscritos en el Inventario General de Bienes Muebles y por último, los bienes muebles o inmuebles integrantes del Patrimonio Histórico Español, sin declaración expresa. Los bienes de primera categoría *gozarán de singular protección y tutela* (art. 9).

Además esta Ley considera un único nivel de protección, “integral” y para los demás, *un nivel adecuado de protección*. Los Bienes de Interés Cultural se agrupan en cinco categorías con diferentes grados de protección según el artículo 14.2: Monumento; Jardín Histórico; Conjunto Histórico; Sitio Histórico y Zona Arqueológica.

Se entiende por Monumento Histórico (art. 15.1) *aquellos bienes inmuebles que constituyen realizaciones arquitectónicas o de ingeniería y obras de escultura colosal, siempre que tengan interés histórico, artístico, científico o social*. El concepto de “monumento” o “edificio singular” se concibe como núcleo en torno al cual se estructuran las medidas protectoras al bien inmueble de mérito o valor histórico, artístico, arqueológico, etc.

Por Jardines Históricos (art. 15.2) se entiende por *el espacio delimitado producto de ordenación por el hombre de elementos naturales, a veces contemplado con estructuras de fábrica y estimado de interés en función de su origen o pasado histórico o de sus valores estéticos, sensoriales o botánicos*. Algún autor hace referencia a la necesaria ordenación por el hombre de ciertos elementos naturales para que en función de su origen o pasado histórico o de sus valores estéticos, sensoriales o botánicos, los mismos puedan ser considerados Jardines Históricos.

Por Conjunto Histórico (art. 15.3) *a la agrupación de bienes inmuebles que forman una unidad de asentamiento continua o dispersa, condicionada por una estructura física representativa de la evolución de una comunidad humana, por ser testimonio de su cultura o constituir valor de uso o disfrute para la colectividad.* Hay evidentes solapamientos de la definición de los Conjuntos Históricos como “unidades de asentamiento”, dado que “continuas o dispersas” parece abarcar todo el espectro de agrupaciones, asentamientos o núcleos poblacionales que pueden ser objeto de declaración como Conjuntos Históricos.

Por Sitio Histórico (art. 15.4) *el lugar o paraje natural vinculado a acontecimientos o recuerdos del pasado, a tradiciones populares, creaciones de la cultura o de la naturaleza y a obras del hombre, que poseen un valor histórico, etnográfico, paleontológico o antropológico.* La idea de “vinculación” de aquellos lugares o parajes con acontecimientos o recuerdos del pasado, ponen de manifiesto la relevancia de los valores que hacen al espacio en cuestión ser merecedor de la protección y tutela del Patrimonio Histórico.

Y en último lugar por Zona Arqueológica (art. 15.5) *el lugar o paraje natural donde existen bienes muebles o inmuebles susceptibles de ser estudiados con metodología arqueológica, hayan sido o no extraídos y tanto si se encuentran en la superficie, en el subsuelo o bajo las aguas territoriales españolas.*

Los bienes de segunda categoría son los bienes muebles. Según el Real Decreto 111/1985, artículo 24 se aplica a *los bienes muebles integrantes del patrimonio histórico español, no declarados de interés cultural, que tengan singular relevancia por su notable valor histórico, arqueológico, artístico, científico, técnico o cultural.* Por el real decreto 64/1994, se incorpora que *las Comunidades Autónomas colaborarán en el inventario general a los efectos previstos en este artículo* (art. 24.6) y se reproducirá a nivel autonómico por su legislación sectorial.

Y por último, la tercera categoría, enmarcan a los bienes del patrimonio histórico que no han sido declarados Bienes de Interés Cultural ni incluidos en el inventario general o en los correspondientes catálogos, pero se garantizará su protección y conservación aunque no se mencione.

Por otro lado, mantiene la necesaria actividad de catalogación, y la importancia de los Registros de Bienes de Interés Cultural, considerados como una actividad de catalogación. Circunscribe que se deben registrar aquellos que hayan sido exclusivamente declarados como Bienes de Interés Cultural, es decir, los que presenten grado máximo, relevancia extraordinaria, valor singular y se haya constatado, para su identificación y localización. En esta labor de catalogación, iniciaron una medida de fomento destinado a la realización de intervenciones de restauración, elaboración de inventarios y adquisición de obras de arte, llamada el 1% cultural que ha ayudado a la puesta en valor de muchos de nuestros monumentos.

2.4.1.2. NORMAS SOBRE PATRIMONIO EN LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS

Ante la potestad de las Comunidades Autónomas de gestionar su patrimonio, a partir del año 90 se fue sucediendo una serie de normativa autonómica que regula el patrimonio de cada territorio (fig. 2). Entre ellas hay diferencias, como la utilización de los distintos sufijos aplicados al patrimonio, como histórico o cultural y en algunas ocasiones muestran aportaciones con respecto a LPHE tanto en terminología como en mecanismos de protección. En general se caracterizan por ser normativas concisas y precisas, excepto la de Castilla y León (Querol 2010). El tema que ocupa la presente tesis es el patrimonio situado en el término municipal de Ágreda, Soria, perteneciente a la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Por hacer una breve referencia a esta normativa, se exponen la finalidad y la estructuración de la Ley 12/2002, de 11 de julio, de Patrimonio Cultural de Castilla y León y más adelante en los siguientes capítulos se hará referencia a la citada normativa:

La Ley tiene como finalidad la protección, acrecentamiento y difusión del Patrimonio Cultural de Castilla y León, así como su investigación y transmisión a las generaciones futuras. Contiene para su consecución un conjunto de normas rectoras de la acción administrativa dirigida a la protección y acrecentamiento del Patrimonio Cultural de la Comunidad, y concreta los derechos y deberes concernientes a quienes realicen actuaciones que afecten a los bienes que lo integran.

El texto de la Ley está estructurado en un Título Preliminar, que contiene disposiciones generales sobre las distintas materias que constituyen el objeto de aquélla, y siete títulos que tratan, respectivamente, de la clasificación de los bienes que integran el Patrimonio Cultural de la Comunidad, de su régimen de protección y conservación, del patrimonio arqueológico, del patrimonio etnológico y lingüístico, del patrimonio documental y bibliográfico, de las medidas de fomento y, por último, del régimen inspector y sancionador, además de una parte final compuesta por tres disposiciones adicionales, tres transitorias, dos derogatorias y tres disposiciones finales.

2.4.2. NORMATIVA INTERNACIONAL: PRINCIPALES DIRECTRICES

Al hablar de protección es importante mencionar las directrices internacionales que han marcado las bases para la tutela y conservación del patrimonio y por consecuencia, han dado lugar a la catalogación y registro de estos. A principios del siglo XX se impone la toma de conciencia sobre la protección y conservación del patrimonio histórico y cultural y en ellas se puntualiza de una forma u otra la necesidad de documentar e inventariar el patrimonio para su conservación y restauración. De esta forma, dichas cartas mantienen el enlace de la necesidad de conservar junto con el de estudiar y registrar.

En este apartado se recogen las dos principales directrices que han influido para sentar las bases internacionalmente en la protección y conservación del patrimonio: la Carta de Atenas y la Carta de Venecia, que posteriormente han servido de base para la

LEYES DEL PATRIMONIO CULTURAL EN CCAA

Leyes 4/1990, 4/2013 de Patrimonio Histórico de Castilla La Mancha
 Ley 7/1990 de Patrimonio Cultural Vasco
 Ley 9/1993 de Patrimonio Cultural Catalán
 Ley 8/1995 de Patrimonio Cultural de Galicia
 Leyes 4/1998, 7/2004, 5/2007 de Patrimonio Cultural Valenciano
 Ley 10/1998 de Patrimonio Histórico de la Comunidad de Madrid
 Leyes 11/1998, 3/2006 de Patrimonio Cultural de Cantabria
 Leyes 12/1998, 6/2001 de Patrimonio Histórico de las Illes Balears
 Leyes 3/1999, 5/2011 del Patrimonio Cultural Aragonés
 Leyes 4/1999 y 6/2006 de Patrimonio Histórico de Canarias
 Leyes 2/1999, 2/2008 de Patrimonio Histórico y Cultural de Extremadura
 Ley 1/2001 del Principado de Asturias de Patrimonio Cultural
 Ley 12/2002 de Patrimonio Cultural de Castilla y León
 Ley 7/2004 de Patrimonio Cultural, Histórico y Artístico de La Rioja
 Ley 14/2005 de Patrimonio Cultural de Navarra
 Ley 4/2007 de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia
 Ley 14/2007 de Patrimonio Histórico de Andalucía

Figura 2. Leyes del Patrimonio Cultural en cada Comunidad Autónoma. Fuente: elaboración propia.

declaración de la UNESCO, vigentes aun hoy en la actualidad y para otros documentos europeos e iberoamericanos de diverso carácter, jurídico, territorial y conceptual. Enumerados por orden cronológico se encuentran la Carta de Atenas, *Carta del Restauero*, la Convención de la Haya, la Carta de Venecia, la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, la Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico y declaración de Ámsterdam, la Convención de Granada, la Carta de Toledo o Carta Internacional para la Conservación de las Ciudades Históricas, la Carta Internacional para la Conservación de las Ciudades, la de Cracovia y la de ICOMOS de Ename.

Existen varios tipos de documentos jurídicos proteccionistas, las Convecciones, las Recomendaciones, y las Directivas Comunitarias. Las Recomendaciones o también llamadas Cartas, no son documentos jurídicamente vinculantes sino que únicamente tienen un carácter orientativo o indicativo, por lo que los estados pueden aplicar a voluntad los criterios que establecen. En cambio, las Convecciones o Convenios son tratados multilaterales destinados a reforzar la protección del patrimonio cultural de los pueblos de todo el mundo. Tanto las Convenciones como las Recomendaciones, aconsejan a los distintos gobiernos las medidas que deberían tomar para la protección de un bien o un conjunto. Y por último, las Directivas Comunitarias son normas aprobadas por el Parlamento Europeo y que obligan a su cumplimiento a todos los países de la Unión Europea.

2.4.2.1. CARTA DE ATENAS (1931)

La Carta de Atenas para la Restauración de Monumentos Históricos¹¹, fue redactada en la Conferencia de Expertos para la Protección y Conservación de Monumentos de Arte y de Historia en 1931. Es el primer documento de carácter internacional que expone los principios generales sobre la conservación y restauración de los monumentos. (No se ha de confundir con la Carta de Atenas de 1933, que es el manifiesto del IV Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM)).

Está compuesta por 10 capítulos en los que se expone la defensa a la “restauración científica” de Giovannoni, referida a todos los grandes monumentos arquitectónicos. La gran importancia de la Carta de Atenas radica en la visión internacional de la protección y conservación del patrimonio, *la conservación del patrimonio artístico y arqueológico de la humanidad interesa a todos los Estados guardianes de la civilización* (art. 1).

Además, ampara a la cooperación internacional ante los peligros de las guerras modernas y aboga por el patrimonio como un derecho de la colectividad por encima del interés privado, en el que se van encontrando con las dificultades que esto supone. Y por respetar el ambiente o entorno de los monumentos, defiende la consideración del monumento no como un ente aislado, sino conjuntamente con su entorno. También expresa la importancia de la documentación mediante la publicación de inventarios

¹¹ Carta de Atenas. [http://ipce.mcu.es/pdfs/1931_Carta_Atenas.pdf].

nacionales y archivos documentales sobre los monumentos, difusión y acción educativa para educar en la comprensión de la protección del patrimonio (Hernández 2002). Aboga por la publicación de un inventario de los monumentos históricos nacionales, acompañado por fotografías y notas y porque cada Estado cree un archivo donde se conserven los documentos relativos a los propios monumentos. Es una de las principales cartas, que junto con la de Venecia, se han tenido en cuenta para establecer muchos de los principios sobre la protección del patrimonio.

2.4.2.2. CARTA DEL RESTAURO (1932)

La Carta de Atenas ha marcado las pautas para el documento internacional la *Carta italiana del Restauro*¹² de 1932. Las principales resoluciones se sintetizan en una serie de principios, que sentarán las futuras consideraciones para la gestión y legislación para la protección del patrimonio.

La *Carta del Restauro* de 1932 fue redactada en Roma por el Consejo Superior de Antigüedades y Bellas Artes. Representa un compendio de normas para la restauración de monumentos que se rigen por el *restauro scientifico*, es decir, la restauración por valor histórico y documental, con la importancia de conservar evitando falsificaciones y reconstrucciones en estilo. Toma las consideraciones que formuló Camilo Boito en 1883 en el III Congreso de Arquitectos e Ingenieros Civiles de Roma, donde destaca el principio de diferenciar en estilo entre lo antiguo y lo nuevo. Además indica la necesidad de documentar todas las investigaciones y análisis, con un informe final y documentación fotográfica antes, durante y después del proceso. Este fundamento está considerado como uno de los principios de la investigación en la conservación.

Más adelante, la *Carta del Restauro* de 1972 recopilaría las experiencias de Cesare Brandi, cuya tendencia es la del *restauro crítico*. Y por último, en la de 1987 se introducen con respecto a las anteriores, una terminología más precisa y las actuaciones no admitidas o permitidas.

2.4.2.3. CARTA DE VENECIA (1965)

La Carta de Venecia¹³ sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y de Conjuntos Histórico-Artísticos de 1965, fue redactada en el II Congreso de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos de 1964 y aprobada al año siguiente. Debido a la destrucción ocasionada por la Segunda Guerra Mundial, se decide revisar el principio de la "restauración científica" de la Carta

¹² *Carta italiana del Restauro*. [http://ipce.mcu.es/pdfs/1932_Carta_Restauro_Roma.pdf].

¹³ Carta de Venecia, 1965. [http://ipce.mcu.es/pdfs/1964_Carta_Venecia.pdf].

de Atenas para dar paso al *restauo crítico* formulado por Roberto Pane y Renato Bonelli. Declaran que se ha de dar el valor artístico que tiene una obra y evitar caer en un *falso estético histórico, cultural y documental* (Bonelli 1987).

Consta de siete secciones temáticas y dieciséis artículos, en los cuáles se exponen las ideas sobre la ampliación de la noción de monumento y la tutela ambiental, se amplía el concepto de monumento histórico a la creación arquitectónica aislada y al ambiente urbano y paisajístico tanto para grandes obras como las modestas. La prioridad es la conservación como *mantenimiento sistemático* (art. 4), sin *alterar la distribución y el aspecto del edificio* (art. 5), ni sus *condiciones ambientales* (art. 6) y respecto a la restauración cuya finalidad es *la de conservar y poner de relieve los valores formales antiguos y a las partes auténticas* (art. 9) de los monumentos para la salvaguardia del patrimonio. Tiene una parte en la que engloba la documentación de los trabajos de conservación, acompañados de una documentación precisa, ilustrados por dibujos y fotografías.

Durante este congreso se planteó la necesidad de crear un organismo no gubernamental que velase por el patrimonio, dando lugar a ICOMOS¹⁴. Este organismo ha publicado diversas Cartas y directrices que establecen criterios de protección y actuación. Entre ellas se encuentra la Carta de Florencia de los Jardines Históricos¹⁵ de 1982, la Conservación de las Ciudades Históricas de Toledo¹⁶ en 1986, también la Carta de Washington¹⁷ para la conservación de ciudades históricas y áreas urbanas históricas de 1987, que aporta los principios generales para la planificación y protección de zonas históricas y los Principios para el Análisis, Conservación y Restauración de las Estructuras del Patrimonio Arquitectónico¹⁸ de 2003, que tiene como finalidad formular unas recomendaciones para garantizar la aplicación de métodos de análisis y restauración a las estructuras del patrimonio arquitectónico.

2.4.2.4. OTRAS DIRECTRICES

A lo largo del pasado siglo, se sucedieron además de las mencionadas, una serie de convenciones y consejos que han dado lugar a diversas directrices que apoyan la protección del patrimonio en varios ámbitos. Entre ellas se encuentran la que adopta medidas preventivas para la protección del patrimonio en caso de conflicto armado como es la Convención de la Haya o la

¹⁴ ICOMOS. Véase apartado 2.3.6.5.

¹⁵ Carta de Florencia de los Jardines Históricos, 1982. [http://ipce.mcu.es/pdfs/1981_Carta_Florencia.pdf].

¹⁶ Conservación de las Ciudades Históricas de Toledo, 1986. [http://ipce.mcu.es/pdfs/1986_Carta_Toledo.pdf].

¹⁷ Carta de Washington, 1987. [http://www.international.icomos.org/charters/towns_sp.pdf].

¹⁸ Principios para el Análisis, Conservación y Restauración de las Estructuras del Patrimonio Arquitectónico, 2003. [http://www.international.icomos.org/charters/structures_sp.pdf].

Convención para la Protección de Bienes Culturales en Caso de Conflicto Armado¹⁹ de 1954. O aquella que considera al patrimonio cultural y natural como un “patrimonio universal” cuya protección compete a la comunidad internacional, como es el caso de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural²⁰ ratificada en París en 1972. Así como también lo ampara la Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico²¹ de 1975, pero esta vez sobre el patrimonio arquitectónico. Sobre la adopción de medidas para la protección del patrimonio arquitectónico, se encuentra además la Convención para la Salvaguarda del Patrimonio Arquitectónico de Europa o también llamada Convención de Granada del año 1985.

La última de ellas relacionada con el patrimonio arquitectónico, es la Carta de Cracovia²² del 2000. Pone de manifiesto que el patrimonio arquitectónico, urbano y paisajístico, así como los elementos que lo componen, son el resultado de una identificación con varios momentos asociados a la historia y a sus contextos socioculturales. El objetivo de esta Carta es la conservación. Se detallan los elementos individuales como portadores de muchos valores, los cuales pueden cambiar en el tiempo y por ello, cada comunidad, teniendo en cuenta su memoria colectiva y consciente de su pasado, es responsable de la identificación, así como de la gestión de su patrimonio. Asimismo, también es reconocido que la *interpretación*, entendida como significado completo de un lugar con valor histórico patrimonial, *es igualmente parte esencial del proceso de conservación y fundamental para obtener resultados positivos en la conservación*, como manifiesta la Carta ICOMOS de Ename²³ de 2003.

Estas resoluciones, cartas y recomendaciones han ido adquiriendo entidad lingüística y administrativa a lo largo del siglo XX y como se ha visto, todas ellas están relacionadas con la conservación del patrimonio arquitectónico. La mayoría se pueden consultar en la página web del Instituto del Patrimonio Cultural Español, en la sección de Conservación y Restauración, dentro del apartado de Criterios de Intervención.

2.5. MODELOS ADMINISTRATIVOS DEL PATRIMONIO

El patrimonio es un motivo de debate, desde su definición, ámbitos de aplicación y hasta su capacidad representativa o simbólica. Esta discusión cobra diversas formas, desde su formalización legal y administrativa, hasta los criterios internacionales a

¹⁹ Convención de la Haya o la Convención para la Protección de Bienes Culturales en Caso de Conflicto Armado, 1954. [http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=13637&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html].

²⁰ Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, 1972. [<http://www.mcu.es/patrimonio/docs/convention-es.pdf>].

²¹ Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico, 1975. [http://ipce.mcu.es/pdfs/1975_Carta_Amsterdam.pdf].

²² Carta de Cracovia, 2000. [http://ipce.mcu.es/pdfs/2000_Carta_Cracovia.pdf].

²³ Carta de ICOMOS de Ename para la interpretación de lugares pertenecientes al patrimonio cultural, 2003. [http://ipce.mcu.es/pdfs/2005_Carta_Ename.pdf].

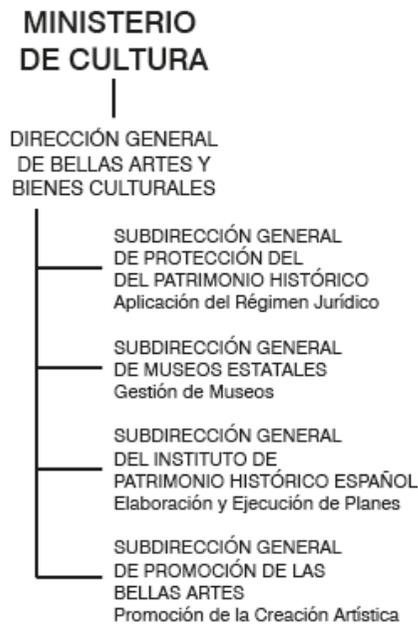


Figura 3: Estructura administrativa del Ministerio de Cultura en relación con el Patrimonio Histórico Español. Fuente: elaboración propia.

través de declaraciones emitidas por distintos organismos. La gestión y protección del patrimonio es compleja por la diversidad de los ámbitos a los que se tiene que enfrentar, como competencias administrativas, calificación y aspectos legales. Por ello, la administración tiene que hacerse cargo de los intereses de los diversos sectores sociales.

Según apunta Querol (2010) son Instituciones del Patrimonio Cultural, el conjunto formado por los archivos, bibliotecas y museos, pero también los lugares donde se desarrollan algunos o varios de los objetivos de la Gestión del Patrimonio Cultural. De esta forma, los niveles en función de las instituciones en España que desarrollan tareas sobre la gestión del patrimonio van desde la estatal, autonómica o regional y local. Las principales leyes estatales que regulan el patrimonio como se ha visto, son la Ley 16/1985 de Protección y Conservación del Patrimonio Histórico Español y el Real Decreto 111/1986. Actualmente, la Constitución Española transfiere a las Comunidades Autónomas las competencias en materia de conservación, en cuanto a su patrimonio monumental de interés (Art. 148), reservándose el Ministerio de Cultura la competencia exclusiva sobre la exportación y expoliación.

A continuación se va a hacer un desglose de todas y cada una de las administraciones, especificando las competencias y sus atribuciones en materia de patrimonio. Entre ellas se encuentran, las que forman parte del sector público, el Ministerio de Cultura del que depende la Dirección General de Bellas y el Instituto del Patrimonio Cultural Español, el Patrimonio de cada Comunidad Autónoma y la administración local o Ayuntamientos, y por otro lado, las de carácter privado, que son la Iglesia Católica y los bienes de propiedad particular.

2.5.1. ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

2.5.1.1. MINISTERIO DE CULTURA. ÁREA PATRIMONIO HISTÓRICO

El Ministerio de Cultura es el órgano encargado de la adquisición, protección y conservación del patrimonio, así como de la gestión con referencia a las comunidades autónomas (real decreto 1887/1996). Su eje principal es la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales. Ésta garantiza la conservación del patrimonio histórico español, promueve el enriquecimiento del mismo, fomenta y tutela el acceso a todos los ciudadanos a los bienes comprendidos en el patrimonio (fig. 3). También adopta medidas necesarias para facilitar su colaboración con los restantes poderes públicos y la de éstos entre sí, como para recabar y proporcionar cuanta información sea precisa. Además facilita la comunicación cultural de las Comunidades Autónomas y por último, le corresponde la difusión internacional del conocimiento de los bienes integrantes, la recuperación de tales bienes cuando hubieran sido ilícitamente exportados y el intercambio de información cultural, técnica y científica respecto con los demás Estados y con los organismos internacionales.

Asimismo, de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales, dependen cuatro unidades: Subdirección General de Protección del Patrimonio Histórico, Subdirección General de Museos Estatales, Subdirección General del Instituto de Patrimonio Histórico Español y Subdirección General de Promoción de las Bellas Artes.

Las competencias de la Subdirección General de Protección del Patrimonio Histórico son las de formación del Registro de Bienes de Interés Cultural y del Inventario General de Bienes Muebles, la propuesta de adquisición de bienes del patrimonio histórico español y las medidas que deban adoptarse frente a la expoliación y exportación ilícita del mismo, entre otras.

Como muestra de una pequeña información del Registro de bienes de interés cultural, a través de su página web, <http://www.mcu.es/patrimonio/>, en bienes protegidos, se puede acceder a la consulta de ellos de una forma esquemática con los datos generales de cada bien (fig. 4). En este caso, se ha accedido a la consulta del Bien de Interés Cultural el arco Califal de Ágreda porque posteriormente será objeto de estudio, además se pueden consultar sus datos e historia en el Anexo.



Patrimonio Cultural

[Inicio](#) > [Áreas](#) > [Patrimonio Cultural](#) > [Bienes culturales protegidos](#)

Consulta a la base de datos de bienes inmuebles

Los datos reflejados tienen un carácter meramente informativo no constitutivo de derechos.

[« Volver](#)

- **Bien:** Puerta Árabe
- **Comunidad Autónoma:** C.A. Castilla y León
- **Provincia:** Soria
- **Municipio:** Ágreda
- **Categoría:** Monumento
- **Código:** (R.I.) - 51 - 0000917 - 00000
- **Registro:** (R.I.) REGISTRO BIC INMUEBLES: Código definitivo
- **Fecha de Declaración:** 03-06-1931
- **Fecha Boletín Declaración:** 04-06-1931

Figura 4. Ficha de consulta del registro de los bienes inmuebles de interés cultural de la Puerta Califal de Ágreda. Fuente: [http://www.mcu.es/bienes/buscarDetalleBienesInmuebles.do?brscgi_DOCN=000015545&brscgi_BCSID=c93699ac&language=es&prev_layout=bienesInmueblesResultado&layout=bienesInmueblesDetalle].

El Ministerio de Cultura tiene competencias sobre un grupo de bienes muy concreto: sobre los archivos, bibliotecas, museos estatales y los bienes históricos del Patrimonio Nacional. El artículo 5 del Real Decreto 656/1985 regula el Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales vinculado al Ministerio de Cultura a través de la Dirección General. A éste le corresponde la elaboración de planes para la conservación y restauración del patrimonio histórico español, como el estudio de métodos y técnicas adecuadas al efecto, el archivo y sistematización de los trabajos realizados en cada caso, la formación de técnicos y especialistas en materia y la propuesta de celebración de convenios con otras Administraciones públicas o entidades públicas o privadas necesarios para el desarrollo de las funciones señaladas.

El instituto del Patrimonio Cultural Español (IPCE), fue creado en el año 1961 como el Instituto Central de Restauración y Conservación de Obras y Objetos de Arte, Arqueología y Etnología, enmarcado como una sección de la Dirección General de Bellas Artes del Ministerio de Cultura y especializado en la Gestión y Restauración de los bienes culturales. Sus funciones son la conservación y restauración de los bienes integrantes del Patrimonio Cultural de España, la investigación sobre el Patrimonio Cultural, la conservación y gestión del fondo documental gestionado por el Instituto y la difusión de los proyectos de la institución. Actualmente el IPCE desarrolla cuatro Planes Nacionales de conservación y restauración de los Bienes del Patrimonio Histórico Español.

Inició un trabajo espectacular en cuestión de la catalogación de los bienes patrimoniales. Abarcó los años 1979 hasta 1982 actuando en cuarenta y siete provincias de los que terminaron treinta y nueve. Fueron elaborados con criterios muy distintos y métodos muy diferentes a lo que se había hecho hasta ahora. Tenía el objetivo de obtener una amplia información de los edificios y conjuntos arquitectónicos de relevancia de España. A día de hoy, este catálogo tiene una funcionalidad muy distinta para la que fue creado, ilustra el concepto de patrimonio de hace un siglo, mostrando elementos desaparecidos, siendo una fuente muy importante para la protección y conservación del patrimonio cultural. Son una serie de fichas en formato web donde se puede ver, el número de identificación y el nombre, la localización, la tipología, características, uso y actuaciones, la descripción y bibliografía (fig. 5).

PUERTA DEL BARRIO.

Identificación - Fechas			
Referencia	ELEMENTO 420040100012 FECHA EVAL. 3-79 U.T.M. -	Entorno	DECLARACION URGENTE.
Nombre	PUERTA DEL BARRIO.	Exteriores	EXTERIORES: ORGANIZACION GENERAL. SOLUCIONES ESTRUCTURALES. COMPOSICION DE FACHADAS. MATERIAL, COLOR Y TEXTURA.
Fecha Declaración	3- 6-31	Interiores	INTERIORES: SOLUCIONES VOLUMETRICAS.
Localización		Singularidad	
Domicilio	LAS ERAS.	Actual	ACTUACION: OBRAS SENCILLAS DE INMEDIATO APTITUD EQUIPAMIENTO COLECTIVO: NO
Entidad	ENTIDAD: AGREDA	Declarada	INTERES ESTATAL.
Localidad	AGREDA		
Provincia	SORIA	Descripción	
Tipología / Características / Uso / Actuaciones		Descripción	PUERTA CALIFAL ENJARZADA SOBRE TROZO DE MURALLA. HAN DESAPARECIDO LOS MUROS QUE SE CONTINUABAN A AMBOS LADOS. A PESAR DE SER UN MONUMENTO DECLARADO HISTORICO - ARTISTICO, SU ENTORNO SE ENCUENTRA ABANDONADO Y COCHAMBROSO POR SER UTILIZADO COMO BASURERO POR LOS VECINOS. LA PUERTA, CON ARCO DE HERRARURA Y DOVELAS DE PIEDRA, SOBRE LAS QUE VA OTRO ARQUILLO EMBUTIDO DE LADRILLO, QUE PARECE CUMPLIR LA FUNCION DE REFUERZO O TAL VEZ EL DOVELADO DE UNA PUERTA ANTERIOR EN CONSTRUCCION. LOS RESTOS DE LA MURALLA ARABE QUE PERSISTEN SON DE APAREJO A BASE DE REPETIDOS SILLARES A TIZON. URGEN MEDIDAS OFICIALES PARA ADECENTAR LOS ALREDEDORES DE ESTA ESPLENDIDA PUERTA CALIFAL, AL NO PRESTAR EL MUNICIPIO LA MENOR ATENCION PUERTA DECLARADA MONUMENTO HISTORICO - ARTISTICO EL 3 DE JUNIO DE 1931
Siglo/Estilo	SIGLO MAS RELEVANTE: 10 ESTILO RELEVANTE: MUSULMAN.		
Trazado	SIMPLE ANONIMO.		
Entorno	CALIDAD VISUAL: EXTENSION ESCASA. CALIDAD AMBIENTAL: EXTENSION ESCASA. IMAGEN MEDIO SOCIO-ECONOMICO ACTIVO.		
Uso actual	ACTUAL: CULTURAL.		
Uso recomendado	RECOMENDADO: CULTURAL.		
Propiedad	PATRIMONIO NACIONAL DEL ESTADO		
Conservación	CONSERVACION GLOBAL: DEFICIENTE. DEFECTOS DE CONSERVACION: EN MUROS, CUBIERTAS Y PILARES. EN FORJADOS Y BOVEDAS. EN CERRAMIENTO Y CUBRICONES. EN REVESTIMIENTOS Y SOLADOS. EN ELEMENTOS ORNAMENTALES. EN GENERAL GRAVES EN ELEMENTOS AUXILIARES. EN INSTALACIONES. EN HUMEDADES.	Bibliografía	
		Bibliografía	"SORIA" N. RABAL. BARCELONA 1889. PAG. 446 "ARS HISPANACAE" T. III "ARTE ARABE ESPAÑOL" M. GOMEZ MORENO. MADRID 1951 PAG. 389. PLANO GENERAL N 319. ESCALA 1:50.000 PLANO POBLACION ESCALA 1:5.000 FOTO EXTERIOR

Figura 5. Ficha del catálogo del IPCE de la Puerta Califal de Ágreda. Fuente: [<http://www.mcu.es/cgi-brs/BasesHTML/ipce/BRSCGI?CMD=VERDOC&BASE=IPAA&DOCR=12&RNG=10&SORT=&SEPARADOR=&op=AND&op=AND&WLLOC-C=%c1GREDA&op=AND>].

Una de las comunidades que han creado su propio organismo ha sido Andalucía, con el Instituto del Patrimonio Histórico Andaluz (IPHA). Este instituto desarrolla tareas similares en cuanto al Patrimonio de su Comunidad.

2.5.1.2. LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS Y SU ACCIÓN EN EL PATRIMONIO

A partir de la aprobación de la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español, las comunidades autónomas han ido extendiendo su propia legislación y no todas utilizan la misma acepción cuando se refirieren al patrimonio. De las 13 comunidades autónomas, adoptan el término de “Patrimonio Histórico” Andalucía, Canarias, Castilla-La Mancha, Islas Baleares y Madrid. El término de “Patrimonio Cultural” las comunidades de Aragón, Asturias, Cantabria, Cataluña, Galicia, País Vasco y Valencia, y Extremadura el término de “Patrimonio Histórico y Cultural” (Hernández 2002).

Cada Comunidad Autónoma tiene competencia sobre el patrimonio ubicado en su territorio, salvo los mencionados anteriormente, y libertad para constituir sus propios modelos organizativos, aunque suelen seguir los de la Administración, como se muestra en la figura 6, gestionados por Departamentos que vertebra la Dirección General. Dentro de ellas existen la Dirección General de Patrimonio Histórico o Cultural, de bienes Culturales o simplemente de Cultura según cada comunidad autónoma. La Dirección General se complementa con Áreas o Servicios que se organizan por áreas funcionales de Documentación, Investigación, o por tipos de Patrimonio Cultural, y en cada Servicio puede haber Secciones aún más especializadas. Por último, cada comunidad autónoma tiene comisiones, organismos asesores e instituciones técnicas, orientadas a la conservación y difusión del patrimonio. Cabe destacar el esfuerzo realizado por las Comunidades Autónomas por estudiar, valorar, conservar y difundir su propio Patrimonio Cultural (fig. 6).

A partir de la Constitución de 1978 y de diferentes Leyes, se les transfieren a las Comunidades Autónomas diversas competencias. Entre ellas, la competencia sobre patrimonio histórico, artístico, monumental, arqueológico y científico, museos, bibliotecas, archivos y conservatorios de música, además de la enseñanza de la lengua de la Comunidad Autónoma. Casi la totalidad de ellas han redactado su propia legislación.

Este trabajo se orienta al municipio de Ágreda (Soria) por lo que debemos hablar de lo que ocurre en Castilla y León. Esta comunidad se enfrenta al gran reto, problemático en gran medida, de la conservación de una enorme cantidad de patrimonio. En nuestra Comunidad se encuentra cerca del 60% de todo el patrimonio existente en España. Estos datos incluyen 8 bienes patrimonio de la humanidad, 4 de Patrimonio Nacional, 1.800 Bienes de Interés Cultural clasificados, 112 conjuntos históricos, 400 museos, más de 500 castillos, de los cuales 16 son considerados de alto valor histórico, 12 catedrales, 1 concatedral, y la mayor concentración de arte románico del mundo. Además se contabilizan, a partir de las cartas arqueológicas, 23.000 yacimientos arqueológicos inventariados y 200.000 bienes muebles del inventario eclesiástico.



Figura 6: Estructura del Gobierno de Castilla y León en función de la protección del patrimonio. Fuente: elaboración propia.

El reconocimiento del valor del patrimonio cultural está recogido en el artículo 4º del Estatuto de Autonomía de Castilla y León, que declara el patrimonio histórico y artístico, junto a la lengua castellana y el patrimonio natural, como valores esenciales para la identidad de la Comunidad, que han de ser objeto de especial protección y apoyo.

Con la aprobación de la Ley 12/2002, de 11 de julio, de Patrimonio Cultural de Castilla y León, se dota a la Comunidad de un instrumento eficaz para la salvaguardia y gestión del Patrimonio Cultural. Esta Ley fue ampliada por Ley 8/2004, de 22 de diciembre, de modificación de la Ley 12/2002. Y para su desarrollo se ha aprobado por la Junta de Castilla y León el Decreto 37/2007, de 19 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para la protección del Patrimonio Cultural de Castilla y León. Y el Decreto 39/2011, de 7 de julio. Además, según en este decreto, expone que a la Dirección General de Patrimonio Cultural de Castilla y León le corresponden las siguientes atribuciones:

- La dirección de las actuaciones para la protección, conservación y restauración del patrimonio cultural.
- La planificación y gestión, en su caso, de las estrategias y programas de intervención en el patrimonio cultural y en aquellos ámbitos territoriales que ostenten valor de patrimonio cultural reconocido.
- La redacción, puesta en marcha y supervisión de planes de actuación y protección en sistemas territoriales de patrimonio, conjuntos históricos y cualquier otro bien urbano o territorial con valor de patrimonio cultural reconocido.
- El impulso de proyectos de cooperación en cualquier ámbito, para el intercambio de conocimientos y buenas prácticas en la intervención y gestión del patrimonio cultural.
- El impulso y desarrollo de investigaciones y proyectos para integrar la innovación en los procesos de conservación y puesta en valor de los bienes integrantes del patrimonio cultural.
- La canalización de la iniciativa pública y privada sobre el patrimonio cultural a través de modelos integrados de gestión al servicio del desarrollo territorial de la Comunidad Autónoma.
- La planificación, ejecución y gestión de actuaciones e infraestructuras relativas a la difusión y valorización del patrimonio cultural.
- La gestión de las declaraciones de Bienes de Interés Cultural y de las del Inventario de Bienes del Patrimonio Cultural de Castilla y León.
- El impulso y supervisión de la actividad de la Comisión de Patrimonio Cultural de Castilla y León y del Consejo de Patrimonio Cultural de Castilla y León, así como la dirección, seguimiento, apoyo y coordinación de las Comisiones Territoriales de Patrimonio Cultural.
- La dirección, gestión e impulso de la actividad de inspección en materia de patrimonio cultural.

En esta sinergia, la Comunidad de Castilla y León ha preparado planes de actuación cuyo principal objetivo son la protección y conservación activa del patrimonio histórico de la comunidad, así como fomentar su conocimiento y difusión. Entre ellos, se encuentran el Plan de Intervención en el Patrimonio Histórico de Castilla y León en el período de 1996-2002 y el Plan PAHÍS 2004-

2012 del Patrimonio Histórico de Castilla y León. En estos planes han programado un procedimiento de gestión realista e impulsor del desarrollo sostenible del territorio y de las poblaciones en las que se insertan los bienes culturales (Plan PAHÍS 2008). A lo largo del desarrollo de este estudio, se irán examinando las propuestas a llevadas a cabo en dicho plan.

Por otro lado, en el portal de la Junta de Castilla y León existe un acceso al Catálogo Web de Bienes de Interés Cultural como una muestra de los bienes gestionados por la comunidad. Ahí se puede consultar información textual de una ficha básica de identificación, régimen de protección y descripción del bien, con imágenes y documentos complementarios en algunos casos. Este catálogo es una simplificación para mostrar en la web del Sistema de Información PACU²⁴. A éste se le añade un visor geográfico de Bienes Culturales con un Sistema de Información Geográfica en el que con herramientas de navegación y búsqueda se pueden seleccionar territorios y buscar información sobre bienes culturales situados sobre diversos municipios. Se muestran los Bienes de Interés Cultural y las áreas afectadas por estos bienes, como el entorno de protección y la zona afectada por la declaración de Ágreda (fig. 7).

The image shows a screenshot of the BICUcyl website. The main part is a map of the Villa de Ágreda with a purple outline. To the right of the map is a search and information panel. The search panel has dropdowns for 'Provincia: SORIA' and 'Municipio: ÁGREDA', and a 'Buscar' button. Below it is an 'Información' panel for 'Bienes (2): PUERTA ARABE'. This panel contains a table with the following data:

MÁS INFORMACIÓN	
Código JCYL	42-004-0001-006-0000-000
Denominación	PUERTA ARABE
Tipología	PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
Subtipología	MILITARES
Subclasificación	PUERTA
Régimen de protección	BIENES DE INTERÉS CULTURAL
Categoría de	MONUMENTO

To the right of the map is a sidebar with the title 'Catálogo Web' and a sub-header 'PUERTA ARABE'. It contains sections for 'Datos Generales' (with fields for Ubicación: ÁGREDA(Soria), Categoría: MONUMENTO, Fecha Incoación: 03/06/1931, Fecha Declaración: 03/06/1931, Fecha BOE: 04/06/1931), 'Descripción', 'Galería de imágenes' (with three small images), and 'Documentos asociados' (with a link to 'BOE resolución').

Figura 7: Visor geográfico de la Villa de Ágreda y catálogo de Bienes de Interés Cultural de la Puerta Árabe de Ágreda. Fuente: [http://www.idecyl.jcyl.es/VisorLigeroPACU/index2.html?].

²⁴ PACU, es el Sistema de Información para el Patrimonio Histórico de Castilla y León. Véase capítulo 2.4.1.1.

2.5.1.3. LOS AYUNTAMIENTOS AL CUIDADO DEL PATRIMONIO

Las Comunidades Autónomas asumen el papel de la gestión, administración, documentación y difusión de los bienes culturales, y a los ayuntamientos o corporaciones locales les corresponde la misión de colaborar. Pero resulta imprescindible, como apunta Castellano y Sánchez (1996), incorporar a las administraciones locales el organigrama gestor y administrativo de nuestro Patrimonio Histórico, como parte de él y no como un elemento apadrinado sobre el cual recae.

A lo largo del siglo pasado, se han ido aprobando normativas que encuadran obligaciones a los municipios. Como el Decreto de 11 de agosto de 1918 donde se aprueban las Comisiones provinciales de monumentos, la Ley de 1933 en los artículos 25 y 26 y en el régimen local de los Estatutos de Calvo Sotelo de 1924 y 1925 y el artículo 101 de la Ley de 1955 tiene competencia municipal para la protección y defensa del paisaje, museos y monumentos artísticos e históricos. En 1958 y 1963 se constituye la categoría de monumentos provinciales y locales. Por último la Ley 7/1985, porque acoge la teoría de la autonomía local concebida como un derecho de participación.

Según el artículo 7 de la Ley 16/1985, los municipios tienen la obligación de cooperar con los organismos competentes para la ejecución de esta Ley en la conservación y custodia del patrimonio histórico español comprendido en su término municipal. Y por ello tienen las siguientes competencias: la de adoptar medidas oportunas para evitar su deterioro, pérdida o destrucción; la de notificar a la Administración competente cualquier amenaza, daño o perturbación de su función social que tales bienes sufran; así como de las dificultades y necesidades que tengan para el cuidado de estos bienes; y por último, ejercer las funciones que expresamente les atribuya esta Ley.

Una de las principales tareas (aunque también voluntaria) correspondiente a los ayuntamientos es la redacción y puesta en práctica de Planes Especiales tras la aprobación de un BIC de un Conjunto Histórico, Sitio Histórico o Zona Arqueológica. Otra de las obligaciones que se establece a los ayuntamientos es la de aprobar y mantener actualizado un catálogo arquitectónico del municipio que donde se recogen a los inmuebles y espacios singulares que por sus valores arquitectónicos, históricos y etnográficos, merezcan su preservación. En este catálogo también se establece el grado de protección y los tipos de intervención permitidos. Por tanto, es un instrumento urbanístico de protección exigido por las normas y por el gobierno, que coopera mediante convenios técnicos y económicos para su formulación, tramitación y gestión.

En la figura 8 se muestra una ficha catalográfica de las Normas Subsidiarias de la villa de Ágreda del Plan Especial de Protección del Casco Histórico elaborado en 2012, perteneciente a la Puerta Califal de Ágreda declara Bien de Interés Cultural en el año 1931. Es una ficha realizada en formato papel, no forma parte de ninguna base de datos que se pueda consultar a través de la página web del Ayuntamiento, ni de ninguna base de datos interna. Se trata de una ficha simple en la que aparecen la descripción general,

con la titularidad, situación, referencia catastral, declaración de BIC, tipología, época y estilo, una descripción constructiva, de usos y estado de conservación y por último, las condiciones de protección.

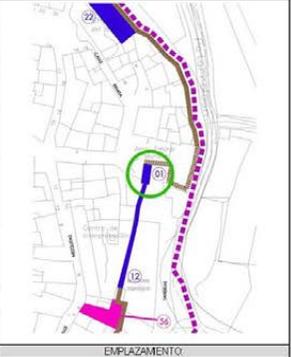
PLAN ESPECIAL DE PROTECCIÓN DEL CONJUNTO HISTÓRICO DE AGREDA		
CATÁLOGO DE BIENES PROTEGIDOS		
FICHA Nº: I-1		
ARCO CALIFAL O PUERTA DEL CEMENTERIO		
TITULARIDAD:		PÚBLICA
SITUACIÓN:		c/ Arco Moro C/ Tañerías
REF. CATASTRAL:		0044701WM9304S
DECLARACIÓN B.I.C.:		SI
TIPOLOGIA :		MONUMENTO
EPOCA:		s. X.
ESTILO:	Arquitectura defensiva de la época árabe.	
DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA		
ALTURA:		
CUBIERTA:	TIPO: MATERIAL:	
FACHADA:	COMPOSICIÓN: MATERIAL: CARPINTERÍAS:	
ESTRUCTURA:	VERTICAL: HORIZONTAL Y CUBIERTA:	
ELEMENTOS DE INTERÉS:	Arco de herradura	
USOS		
PLANTA BAJA:		
PLANTAS SUPERIORES:		
ESTADO DE CONSERVACIÓN:	BUENO	
Elementos negativos:		
CONDICIONES DE PROTECCIÓN:		PROTECCIÓN INTEGRAL
Criterios de valoración: Ejemplo representativo de tipología		ELEMENTOS A CONSERVAR:
Objetivos:		ESTRUCTURA X
Conservación estricta, y eliminación de humedades por capilaridad del terreno. Consolidación de la coronación para evitar deterioro.		VOLUMETRÍA X
Observaciones:		FACHADA
		CUBIERTA
		COMPOSICIÓN FACHADA
		DISTRIBUCIÓN INTERIOR
		HUECOS
		ARCOS X
		BLASÓN / ESCUDO
		OTRA ORNAMENTACIÓN
		CARPINTERÍAS
		OTROS

Figura 8: Ficha del catálogo del Plan Especial de Protección del Casco Histórico de Ágreda del Arco Califal. Fuente: Serrano (2012).

2.5.2. PROPIEDAD PRIVADA

2.5.2.1. LOS PARTICULARES COMO SUJETOS DE DERECHO

La Ley 16/1985 regula la titularidad de los bienes integrantes del patrimonio histórico español por parte de los particulares, estableciendo una larga lista de medidas. Los particulares son un depositario o custodio del bien herencia cultural de la comunidad y no el dueño total y absoluto del mismo. Tienen una serie de derechos reconocidos, como son el derecho a la información pública (art. 9.2) para la declaración de un Bien de Interés Cultural de un inmueble; el derecho a solicitar la incoación de expediente para la declaración de un BIC, con la consecuencia de que la Administración tendrá que notificar a quienes lo instaron la decisión sobre la

incoación, las incidencias y las resoluciones del expediente (art. 10); el derecho de todos los ciudadanos españoles al acceso a los archivos, bibliotecas y museos de titularidad estatal, sin perjuicio de las restricciones que por razón de conservación de los bienes en ellos custodiados o de la función de la propia institución puedan establecerse (art. 62); el derecho a solicitar del Estado la cesión de un bien ilegalmente exportado (art. 26.3) y en último lugar, el derecho a premio metálico del propietario del lugar en que se descubran bienes del patrimonio histórico español (art. 44.3).

Por otro lado, sus obligaciones son, el deber de conservación (art. 35); los deberes de información (art. 26.2), de comunicación (art. 26.4, 6, 35, 38 y 44) y de registro (art. 26.4); el deber de entrega (art. 42 y 44); de exigencia de autorizaciones para exportación (art. 5.2), de pago de tasa (art. 30), para obras (art. 19.1 y 22), para restauración (art. 39) y para excavaciones y prospecciones arqueológicas (art. 42); de sometimiento a inspecciones, estudios o visitas (art. 13.2, 26.2 y 26.6); de prohibiciones (art. 22.2) y de venta forzosa (art. 33). No pueden legalmente poner trabas al inventario de esos bienes, ni a su estudio por parte de los especialistas, ni a su conocimiento, difusión y disfrute por parte de los ciudadanos.

2.5.2.2. LA IGLESIA CATÓLICA

La singularidad del tratamiento jurídico del patrimonio histórico perteneciente a la Iglesia católica tiene una larga tradición que se remonta a la Edad Media. El “Patrimonio Cultural de la Iglesia” hace referencia a los bienes culturales de la Iglesia, los que “el Pueblo de Dios, creó, recibió, conservó y sigue en parte utilizando para el culto, la evangelización y la difusión de la cultura”. Los bienes de la Iglesia Católica: son los bienes elaborados al servicio de la Iglesia católica española y se siguen utilizando para el culto y la difusión de la cultura: iglesias, catedrales, monasterios, santuarios, archivos, retablos, esculturas, pinturas, objetos de culto, etc., pertenecientes a la diócesis, parroquias, casas religiosas, cofradías, órdenes religiosas, etc. (Sancho 2003).

El artículo XV del Acuerdo entre el Estado español y la Santa Sede sobre enseñanzas y asuntos culturales del 3 de enero de 1979 dispone que:

La Iglesia reitera su voluntad de continuar poniendo al servicio de la sociedad su patrimonio histórico, artístico y documental y concertará con el Estado las bases para hacer efectivos el interés común y la colaboración de ambas partes con el fin de preservar, dar a conocer y catalogar este patrimonio cultural en posesión de la Iglesia, de facilitar su contemplación y estudio, de lograr su mejor conservación e impedir cualquier clase de pérdidas, en el marco del artículo 46 de la Constitución. A estos efectos y a cualesquiera otros relacionados con dicho patrimonio, se creará una Comisión mixta en el plazo máximo de un año a partir de la fecha de entrada en vigor en España del presente Acuerdo.

El primer documento realizado por dicha Comisión mixta fue un inventario de bienes de valor histórico, artístico, bibliográfico y documental pertenecientes por cualquier título a las entidades eclesiásticas.

2.6. ORGANISMOS E INSTITUCIONES INTERNACIONALES Y NACIONALES

Es importante el legado que hemos recibido del pasado y su transmisión a generaciones futuras. De ahí que los grandes objetivos marcados por las organizaciones internacionales y la sociedad civil respecto a la conservación del patrimonio sean importantes, pero en contraposición cobran una dimensión diferente en cada Estado, atendiendo a su contexto sociopolítico, su capacidad de inversión y al arraigo del patrimonio como valor, pero siempre obedeciendo a la preservación y de que se impulsen no sólo la conservación, sino también las medidas necesarias para rehabilitar lo dañado por el tiempo o por el hombre.

En este apartado se recogen algunas líneas sobre los organismos internacionales gubernamentales y no gubernamentales relacionados con el Patrimonio Cultural y Natural, como son la UNESCO y su Comisión de Patrimonio Mundial, los organismos asesores ICOMOS, UICN y ICCROM, así como el International *Committee of the Blue Shield*, entre otros y por otro lado, los nacionales como el consejo de Patrimonio Histórico Español, CSIC e IAPH.

2.6.1. ORGANISMOS INTERNACIONALES

2.6.1.1. LA UNESCO Y EL PATRIMONIO MUNDIAL

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura²⁵ fue fundada el 26 de Noviembre 1945 en París como agencia especializada de la ONU. Está constituida con la misión de *contribuir al mantenimiento de la paz y de la seguridad favoreciendo, mediante la educación, la ciencia y la cultura, la colaboración entre las naciones con el fin de asegurar el respeto universal por la justicia, la ley, los derechos del hombre y las libertades fundamentales que la Carta de las Naciones Unidas reconoce a todos los pueblos*. Tiene como uno de sus cinco objetivos, la Cultura y su mandato es hacer progresar los conocimientos, los estándares y la cooperación intelectual con el objeto de proteger, salvaguardar y manejar el patrimonio material e inmaterial. Además promueve la diversidad de las expresiones culturales y el diálogo de las culturas con el objeto de fomentar una cultura de la paz. Este gran movimiento internacional tuvo lugar después de la Segunda Guerra Mundial.

²⁵ UNESCO. [<http://whc.unesco.org/>].

La Convención de 1945 se instituyó en el seno de la UNESCO, un Comité del Patrimonio Mundial, integrado por 15 Estados designados durante el desarrollo de las sesiones ordinarias de la Conferencia General de la UNESCO. El Comité procede a la compilación y actualización de un “Elenco del Patrimonio Mundial”.

La UNESCO asume un papel intermediario entre los países del norte y del sur concerniente a la posesión de determinados bienes culturales, y defiende el valor del patrimonio en favor de la paz y el entendimiento entre los pueblos. Actúa en torno a la prevención, gestión e intervención y tiene conciencia universal de que el valor más importante del patrimonio cultural es la diversidad que debe unir a los pueblos del mundo a través del diálogo y del entendimiento (García 2011).

2.6.1.2. LA UNIÓN EUROPEA

La Unión Europea²⁶, con sede en Bruselas, fue fundada en 1957 con el antiguo Tratado de Roma, pero sólo en los últimos años, a partir de 1992 del Tratado de Maastricht ha empezado a desarrollar un compromiso relacionado con el patrimonio cultural. El título IX del Tratado de Maastricht resalta que pondrá de *relieve el patrimonio cultural* y su acción será favorecer la cooperación entre los estados miembros para la mejora del conocimiento, la difusión de la cultura y la historia de los pueblos europeos, la búsqueda de una identidad común con respecto a la diversidad de las culturas, la conservación y protección del patrimonio cultural de importancia europea.

Después de Maastricht se inician los Programas Marco. Actualmente nos encontramos en el Séptimo Programa Marco (2007-2013), llamado *Construir la Europa del Conocimiento* y se centra en el apoyo a la investigación. Otro de los programas que fomentan la cooperación cultural en el ámbito del Patrimonio, es RAFAEL. Las acciones de este programa se centraron en la protección y conservación del patrimonio de la UE, con financiación a obras de restauración de monumentos y yacimientos arqueológicos europeos de excepcional importancia histórica, con ayudas a la formación en la restauración y conservación.

2.6.1.3. CONSEJO DE EUROPA

El Consejo de Europa²⁷ es una organización intergubernamental creada para promover la unión de los países europeos dedicada entre otros, a aspectos culturales, a la promoción de la conciencia cultural identitaria europea. Nace en 1949 y su sede

²⁶ Unión Europea. [http://europa.eu/index_es.htm].

²⁷ Consejo de Europa. [<http://hub.coe.int/>].

está en la ciudad francesa de Estrasburgo. Hace alusión a la lista de los “Derechos del Hombre” (hoy de la humanidad), así como a la afirmación del primado del Derecho. La unión y la cooperación europea trabajan para evitar más desastres.

Está compuesto por dos órganos: el Comité o Consejo de Ministros, que reúne a los titulares de Asuntos Exteriores de los Estados Miembros y la Asamblea Parlamentaria, formada por representantes designados por cada Parlamento nacional. El Comité del Patrimonio Cultural es el encargado de velar por la conservación del patrimonio y su integración óptima en el entorno natural y humano. Sus realizaciones han afectado al patrimonio arquitectónico y arqueológico en la articulación de planes quincenales. La Asamblea Parlamentaria del Consejo de Europa acuerda resoluciones en forma de Recomendaciones, que dan lugar a Declaraciones y Convenios. Ha promovido Jornadas Europeas de Patrimonio, Aulas de Patrimonio e Itinerarios Culturales Europeos, de apoyo a los museos en Museo Europeo del Año y por la campaña de Europa, un Patrimonio Común.

2.6.1.4. INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES (ICOMOS)

El *International Council on Monuments and Sites*, ICOMOS o Consejo Internacional de Monumentos y Lugares Históricos²⁸ es un organismo internacional no gubernamental de profesionales e instituciones dedicados a la conservación, protección y revalorización de los monumentos, conjuntos y sitios históricos. Tiene su sede en París. Fue fundado en 1965 en Varsovia tras el II Congreso de Arquitectos y Técnicos de los Monumentos Históricos en el que se elaboró la Carta de Venecia de 1964, y desde 1972 forma parte de la estructura de la Comisión de Patrimonio Mundial. La reciente Carta de Cracovia de 2000 supone una nueva vía donde el ICOMOS pretende progresar en la dirección de la renovar las políticas y los procedimientos tradicionales de conservación ante las nuevas concepciones.

Sus objetivos son la protección del patrimonio, la creación de una red de especialistas, la difusión de teorías patrimoniales, la creación de centros de documentación e investigación y el apoyo a programas de formación, salvaguarda y consultoría del patrimonio. Igualmente, es uno de los principales participantes de la Red de Información del Patrimonio Mundial.

El comité está compuesto por alrededor de 9.500 profesionales de todo el mundo y 86 países, los cuales forman parte de los comités nacionales de los países que conforman la UNESCO. Cada comité adopta sus propias reglas basadas en las declaraciones de ICOMOS.

²⁸ *International Council on Monuments and Sites*. [http://www.esicomos.org/nueva_carpeta/info_ICOMOS.htm].

2.6.1.5. OTROS ORGANISMOS INTERNACIONALES

Entre otros organismos, se van a estudiar en líneas generales aquellos que tienen relación con la protección del patrimonio mundial y otros que merece la pena conocer por su gran influencia. Como es el caso del Consejo Internacional de los Museos o ICOM²⁹. Es una organización profesional fundada en 1964 por Hamlim, director del Museo de Ciencias de Búfalo. Su objetivo es el de ayudar a la promoción y desarrollo de los museos, además promueve foros de estudio sobre los problemas que afectan al patrimonio y difunde sus actividades a través de la revista *Museum y noticias del Icom*. Se trata de una organización heredera de la Oficina Internacional de los Museos, creada en el seno de las Naciones Unidas.

Otro organismo importante referente en la conservación es el ICCROM o Centro Internacional para la Conservación y Restauración de Objetos de Museos³⁰. Fue creado en 1956 en la IX Conferencia General de la UNESCO con sede en Roma. Es un organismo intergubernamental de asesoría técnica sobre la conservación de los bienes muebles y de los sitios inscritos como Patrimonio Mundial. En la actualidad cuenta con 133 Estados adheridos y es el tercer organismo consultivo de la Comisión de Patrimonio Mundial.

En cuanto a la protección del patrimonio mundial se encuentra la *International Committee of the Blue Shield* (ICBS)³¹. Fue creada en 1996 para dar protección al Patrimonio Mundial en peligro frente a situaciones de emergencia, como en el caso de guerra y desastres naturales. Se ocupa de archivos, bibliotecas y monumentos. Está formada por cinco organizaciones no gubernamentales, entre ellas ICOMOS. Además tomó su nombre, *Blue Shield* (Escudo Azul) por el símbolo definido en la Convención de Hauge de 1954 para marcar los sitios culturales y protegerlos de ataques durante los conflictos armados.

La Organización de Ciudades del Patrimonio Mundial (OCPM)³² nació en 1993 en Fez con la idea de desarrollar un espíritu de solidaridad y una estrecha relación de cooperación entre las ciudades del Patrimonio Mundial. En particular, en la aplicación de la Convención. Su trabajo consiste en facilitar el intercambio de conocimientos y técnicas administrativas para la protección de monumentos y yacimientos. Actualmente la lista de ciudades pertenecientes a esta organización asciende a 223, pertenecientes a 80 países y 17 españolas. La sede se encuentra en Quebec, cuenta con seis Secretarías Regionales y organiza campañas de financiación a través del Fondo de Solidaridad de las ciudades del Patrimonio Mundial.

²⁹ Consejo Internacional de Museos_España. [<http://www.icom-ce.org/>].

³⁰ Centro Internacional para la Conservación y Restauración de Objetos de Museos. [<http://www.iccrom.org/>].

³¹ *International Committee of the Blue Shield*. [<http://www.ancbs.org/cms/en/about-us/about-icbs>].

³² Organización de Ciudades del Patrimonio Mundial. [http://www.ovpm.org/es/new_home].

Otra institución comprometida con la preservación del patrimonio mundial es el *Getty Conservation Institute*³³. Se encuentra en California y es uno de los centros más prestigiosos. Está involucrado en la conservación tanto de objetos, colecciones existentes en museos como los yacimientos arqueológicos y monumentos urbanos. Combina la investigación con el trabajo de campo, disponiendo de numerosos recursos económicos que facilitan el intercambio de información a través de propuestas multidisciplinares con especialistas en el campo de las artes y las ciencias.

Otras instituciones internacionales son *The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works* o Instituto Internacional de Conservación (IIC)³⁴ y *The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage* (TICCIH)³⁵. IIC es una organización independiente internacional fundada en Londres en 1950 y apoyada por miembros individuales e institucionales. Sirve como un foro para la comunicación entre profesionales con responsabilidad en la preservación de herencia cultural para avanzar en el conocimiento, la práctica y normas para la conservación de trabajos históricos y artísticos con el resultado de publicaciones y conferencias. TICCIH, es una organización no gubernamental creada en 1973 para el estudio del Patrimonio Industrial. Avalada por su propia trayectoria, es desde el año 2000 asesor especialista de ICOMOS para la declaración y seguimiento del Patrimonio Mundial.

2.6.2. ORGANISMOS NACIONALES

2.6.2.1. EL CONSEJO DE PATRIMONIO HISTÓRICO ESPAÑOL

El Consejo el Patrimonio Histórico Español³⁶ es un órgano colegiado, consultivo y asesor de colaboración entre la Administración del Estado y las Comunidades Autónomas. Está compuesto por un representante de cada comunidad autónoma, designado por el Consejo de Gobierno y presidido por el que en ese momento esté al frente de la Dirección General de Bellas Artes. Su objetivo es la comunicación y el intercambio de programas de actuación e información sobre el Patrimonio Histórico Español.

El Consejo de Patrimonio Histórico Español también es el responsable de asesorar al Ministerio para la elaboración de los planes anuales de conservación y enriquecimiento del Patrimonio Cultural, financiados por el uno por ciento cultural (Lafuente 1998).

³³ *Getty Conservation Institute*. [<https://www.getty.edu/conservation/>].

³⁴ *The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*. [<https://www.iiconservation.org/>].

³⁵ *The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage*. [<http://ticcih.org/>].

³⁶ Consejo de Patrimonio Histórico Español. [<http://www.mcu.es/patrimonio/CE/InfGenral/GestionMinisterio/ConsejoPatrimonioHistorico.html>].

Por otro lado, el Patrimonio Mundial Español³⁷ forma parte del Consejo de Patrimonio Histórico Español del Ministerio de Cultura. La incorporación de España a los organismos internacionales relacionados con Patrimonio Mundial está directamente ligado a los inicios de su democracia y a la promulgación de nuevas leyes para la protección del patrimonio. España es aceptada en la Convención de Patrimonio Mundial en el año 1982. Actualmente, el Patrimonio Mundial en el territorio español está tutelado por los organismos internacionales, como la Comisión de Patrimonio Mundial, UICN e ICOMOS con sus sedes en España. Existen cinco efectos de la declaración como Patrimonio Mundial: el reconocimiento, la inclusión en una Red, la inserción favorable en las rutas del turismo cultural, el afianzamiento de su imagen y las facilidades para acceder a ayudas europeas, estatales y autonómicas (Troitiño 2002). Para promover un bien a Patrimonio Mundial se realiza un inventario denominado Lista Indicativa. Cada Comunidad Autónoma realiza sus propuestas, que son debatidas y aprobadas por la Comisión de Patrimonio Mundial del Consejo del Patrimonio Histórico. Los primeros Monumentos Mundiales declarados en España en 1984, fueron la Alhambra, El Escorial, el Centro Histórico de Córdoba y la Catedral de Burgos. En la actualidad, cuenta con 42 sitios declarados como Patrimonio Mundial, entre los que figuran bienes arqueológicos, naturales, históricos y artísticos.

2.6.2.2. OTRAS ORGANIZACIONES NACIONALES

Para finalizar con la enumeración de las organizaciones destinadas a la protección del patrimonio, existen dos de ámbito nacional. El Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH)³⁸ y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)³⁹. En 1989 se crea el IAPH. Se trata de una institución científica dedicada a la investigación y al desarrollo adscrita a la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. Sus funciones se establecen en el artículo 3.1 del Decreto 75/2008, *se configura como un organismo cuyos fines son la intervención, investigación e innovación, documentación, comunicación y desarrollo del Patrimonio cultural en el marco de los planes de investigación, desarrollo e innovación de la Junta de Andalucía*. Dispone de un Sistema de Información del Patrimonio Histórico que reúne bases de datos del Patrimonio arquitectónico, arqueológico, etnológico y mueble, elabora cartografía y documentación gráfica, y a una escala territorial es eficaz para la protección, investigación, conservación y puesta en valor del Patrimonio. Ha creado el Registro Andaluz de Arquitectura Contemporánea (RAAC) para proteger la arquitectura del siglo XX.

Por último, el CSIC es una institución pública encargada de la investigación científica en España. El CSIC fue creado en 1939, reemplazando a la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, creada en 1907. Comenzó contando con ocho patronatos y con las especialidades de Filología, Arte y Ciencias Teológicas. Actualmente, cuenta con un centenar de institutos,

³⁷ Patrimonio Mundial Español. [<http://www.spain.info/es/consultas/arte/patrimonio-mundial.html>].

³⁸ Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. [<http://www.iaph.es/web/>].

³⁹ Consejo Superior de Investigaciones Científicas. [<http://www.csic.es/web/guest/home;jsessionid=74DC7A9CF11495EEF2DF714590F6486A>].

repartidos entre las comunidades autónomas y el extranjero. Son cinco sus áreas de actuación: Arqueología y Patrimonio arquitectónico, Biología, Física, Geología y Química. Dentro de Arqueología y Patrimonio arquitectónico, hay seis líneas de trabajo: Arqueología de la Arquitectura, Arqueología del paisaje, Arqueo-botánica, Fotogrametría arquitectónica, Investigación y restauración del Patrimonio arquitectónico y arqueológico, Arqueo-metalurgia y Patología de la construcción.

3. DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO A TRAVÉS DEL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO

3. DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO A TRAVÉS DEL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO

Para realizar una metodología de intervención en un edificio, ya sea para la protección de éste, en el caso de la gestión, conservación o difusión, es fundamental adquirir una documentación gráfica del bien. Esta operación se realiza a través del levantamiento arquitectónico que permite analizar, estudiar y grafiar la obra y así obtener la base de la información sobre la que actuar.

Son necesarias un conjunto de operaciones, medidas y análisis para comprender y documentar bien la obra en su configuración completa, son esenciales sus características dimensionales y métricas, formales y funcionales, su complejidad histórica, sus características estructurales y constructivas y las condiciones de degradación. La documentación gráfica arquitectónica es un documento necesario para la catalogación del patrimonio histórico-artístico (Almagro 2004a) y como veremos, además para otros campos de aplicación, conservación y difusión. Por ello, el levantamiento arquitectónico es el procedimiento necesario a la hora de intervenir en el patrimonio arquitectónico, tanto para su estudio, interpretación, registro, conservación y difusión. Sirve para identificar, analizar morfológicamente y dimensionalmente, conocer de una forma precisa y fiable el estado actual y los elementos de su construcción, los elementos singulares, características de material, cromáticas, morfologías originarias y las transformaciones sufridas a través del tiempo hasta su estado actual. De esta forma se puede comprender y representar los valores arquitectónicos, espaciales y geométricos específicos del edificio y se convierte en un instrumento fundamental para el arquitecto, arqueólogo o estudioso del arte. Gracias al levantamiento arquitectónico se puede llegar a un conocimiento profundo del edificio.

La palabra levantamiento no viene reconocida por el diccionario de la Real Academia. Tiene la afección de como los arquitectos o los arqueólogos la conocemos. Sin embargo en otros idiomas está reconocida, como en italiano: *rilievo*, en francés: *relevé*, en inglés: *survey* o en alemán: *bauforschungen*. Por ello se debe entender al levantamiento arquitectónico como el conocimiento integral del objeto arquitectónico, no sólo en su materialidad física, sino en todo lo que concierne como pueda ser su historia y su significado.

En primer lugar, se tiene que tener en cuenta qué fin se pretende conseguir con el levantamiento arquitectónico, ya que la representación puede responder a una o múltiples finalidades asociadas a disciplinas como la restauración, el análisis arquitectónico, la historia de la arquitectura o la arqueología y la difusión. En la investigación histórica-artística se estudian las formas que han llegado a constituir el edificio, su transformación, modo de construcción y sus detalles singulares; en la restauración y conservación se analizan el conocimiento de los fenómenos de degradación, las alteraciones y cómo se plantean las posibles soluciones para restaurarlo; y por último, en la difusión y divulgación, de cómo dar a conocer nuestro patrimonio a través de la web, televisión y otros medios divulgativos (fig. 9).



Figura 9: Esquema de la documentación del patrimonio para la restauración y difusión. Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, la documentación gráfica necesaria para la representación de un estudio de restauración serán las generales como emplazamiento, plantas, alzados, secciones, secciones de detalles constructivos, y aquellos más específicos, como detalles y alzados de muros, módulos constructivos (aparejos, revocos...), fases constructivas, levantamientos de pavimentos, techos, paramentos y revestimientos, el levantamiento de anomalías, la forma y dimensiones de las fisuras, de los tipos de humedades (por capilaridad, infiltraciones, condensaciones...), del degradado de los materiales y del color (por análisis estratográficos físico-químicos) y de esta forma poder determinar su estado de conservación.

Los métodos de levantamiento arquitectónico, han ido actualizándose con el avance de la tecnología. Son realizados con equipos que pueden hacer un seguimiento de la documentación del edificio u objeto a lo largo de la historia. El resultado de estos estudios, coordinados, que se manifiestan como auténticas investigaciones deben pertenecer al corpus cultural que constituye un acervo organizado de nuestros archivos patrimoniales, elementos indispensables de comparación y consulta.

Las técnicas actuales dedicadas al levantamiento arquitectónico son dos, la fotogrametría y del láser escáner. Ambos permiten generar modelos informáticos tridimensionales hiperprecisos de todo tipo de objetos patrimoniales de los que se puede obtener información 2D y 3D. Con ellos se puede documentar el patrimonio cultural con un nivel de precisión inmejorable ante por ejemplo, la amenaza de su deterioro. Posibilita identificar los daños producidos por factores externos como los climáticos, los eólicos, los agentes acelerantes o el derrumbe de edificaciones anexas, fisuras, etc., es decir, con la ayuda de estas técnicas se dispone de una serie de datos cualitativos y cuantitativos de las problemáticas del inmueble que poco a poco pueden ir alterando la imagen original de los bienes. Existen además otras técnicas que acompañan este tipo de tecnologías como son los análisis termográficos para medir temperaturas o análisis geofísicos para observar las propiedades de los materiales y examinar así esas alteraciones.

En síntesis, el levantamiento arquitectónico es una operación de lectura, de análisis con objetividad que permite la recopilación y reproducción de la documentación gráfica necesaria para aplicar sobre el campo de actuación definido, y ante todo es necesario conocer cuáles son las herramientas destinadas a la realización de un levantamiento.

3.1. TÉCNICAS DE CAPTURA DE DATOS

La metrología es la ciencia cuyo objetivo es la obtención y expresión del valor de las magnitudes, empleando los instrumentos, los métodos y los medios apropiados. Los instrumentos para la toma de medidas han ido evolucionando con el paso del tiempo. La técnica del levantamiento directo es la más antigua, utiliza instrumentos de medida muy simples. Actualmente, estas

técnicas han avanzado y se han vuelto más sofisticadas, utilizando máquinas y tecnologías informáticas que son mucho más precisas y objetivas, como los sistemas topográficos, la fotográfica, la fotogrametría y el láser escáner.

La documentación digital 3D se caracteriza fundamentalmente por su grado de precisión y exactitud en su intento de representar la realidad. La documentación tradicional nunca podrá llegar a representar de manera exacta el mundo real que posee las tres dimensiones, por eso, la documentación digital 3D supone un avance muy significativo en este proceso.

El uso de métodos y técnicas de diversos tipos deberá estar referido al proyecto general de la investigación, por eso dependiendo de las características formales, morfológicas y tecnológicas variará el uso de distintas técnicas para el levantamiento del conocimiento completo y adecuado del edificio.

3.1.1. SISTEMAS SIMPLES

Los instrumentos más simples son la cinta métrica, la plomada, el nivel y el distanciómetro láser. Se usan para la obtención de plantas y con mayor dificultad para alturas, aunque se puedan utilizar otros artilugios como pértigas, jalones, cañas de pescar, globos ligeros, etc. . Además, se puede distinguir entre levantamiento directo o levantamiento diferido.

El levantamiento directo es aquel que se toman las medidas *in-situ* y no requiere más elaboración posterior, salvo la puesta a limpio. Este tipo de levantamiento se usa sobre todo en arqueología ya que normalmente el objeto a representar suele ser de gran complejidad, y tiene la ventaja de que todo se dibuja en contacto directo con el objeto. Para los trabajos de arquitectura se utiliza el levantamiento diferido. Se toman en campo las medidas necesarias que posteriormente en gabinete se realizan los dibujos. Uno de los métodos más utilizados en el levantamiento con sistemas simples, es la triangulación, ya que conociendo los tres lados del triángulo, se tiene una única solución. Las demás formas geométricas podrán descomponerse en formas triangulares, para no suponer que existe ortogonalidad entre dos muros.

Una de las reglas para medir por triangulación, es que los triángulos sean lo más grandes que pueda abarcar nuestra cinta métrica y en la medida de lo posible, que sean triángulos equiláteros, para evitar errores en las medidas por tener lados muy desiguales. Otra es, que se deben tomar las medidas con un origen común y nunca como suma de medidas parciales. De esta forma, es de crucial importancia la realización de un buen croquis, donde habrá que plasmarse mucha información y de forma ordenada, lo que evitará errores e indefiniciones.

Este sistema es idóneo para la medición de plantas horizontales o fachadas planas, pero resulta limitado para la obtención de información tridimensional.

3.1.2. SISTEMAS TOPOGRÁFICOS

Los sistemas topográficos ayudan a conocer las tres coordenadas cartesianas de distintos puntos que definen la forma del objeto arquitectónico. Es realmente útil para realizar una medición a distancia y sin tener accesibilidad. Permiten conocer la situación de un punto, para ello se determinan las direcciones desde al menos dos estaciones y el punto medido que forman un triángulo en el espacio. Esto se puede realizar mediante un teodolito, actualmente electrónico, que permite medir las direcciones de observación en base a dos medidas angulares, una horizontal o azimut y otra vertical o altura angular. Si están dotados de distanciómetro, mediante un rayo infrarrojo modulado que se refleja en un prisma colocado en el punto a medir, se obtiene la distancia al punto, y permite además la memorización automática de todos los datos. Con este aparato se trabaja en coordenadas espaciales.

Cuando el objeto a medir es extenso, el procedimiento utilizado es el llamado de poligonación. En este método se tienen que definir una serie de estaciones dispuestas desde la que se ven la estación anterior y posterior. El recorrido comienza y termina en la misma estación en la que las coordenadas están prefijadas, y se procede midiendo desde cada estación las direcciones y las distancias a las estaciones adyacentes. El cálculo de las coordenadas se realiza pasando de coordenadas polares a cartesianas por medio de una traslación y un giro del sistema local al sistema general. Y esta información además se puede representar mediante un sistema CAD (Diseño Asistido por Ordenador).

3.1.3. LA FOTOGRAFÍA

Es un elemento fundamental auxiliar para los trabajos de levantamiento, permite registrar con rapidez y objetividad datos que no son representables en el dibujo. Y que será la base para la obtención de ortofotografías, por ejemplo de fachadas, donde se corrige la perspectiva o puntos de fuga generados en la toma fotográfica y también para la fotogrametría.

Se basa en el principio de la cámara oscura. Consiste en proyectar una imagen captada por un pequeño agujero sobre una superficie, de tal forma que el tamaño de la imagen queda reducido. Para capturar y almacenar esta imagen, las cámaras

fotográficas utilizaban hasta hace pocos años una película sensible, mientras que en la actualidad, con la fotografía digital, se emplean sensores CCD, CMOS⁴⁰ y memorias digitales.

Los sensores CCD son minúsculos diodos de silicio que al recibir la luz generan una carga eléctrica que en función de la intensidad de la luz, se registra un valor numérico que permite reproducir la imagen en el ordenador. Para que la cámara oscura sea nítida se sitúa un orificio mínimo junto con otro mayor donde se sitúa la lente. De esta forma, los rayos que convergen sobre una de sus caras provenientes de un mismo punto, salen por la cara opuesta en direcciones convergentes hacia un único punto. Por lo que cada punto del objeto genera un solo punto de la imagen. Para conseguir que la imagen sea nítida, hay que enfocar la imagen, es decir, desplazar la lente respecto al plano de imagen hasta cumplir la ley de proporcionalidad entre las distancias. Un objetivo es un grupo de lentes para mejorar sus propiedades, y el dispositivo para regular el orificio por el que pasa la luz se llama diafragma.

Los objetivos se clasifican de acuerdo a su distancia focal, que es la distancia al plano de imagen al que se coloca un centro óptico para enfocar los objetos situados en el infinito (distancias superiores a 20 o 25m). Sus propiedades son la resolución y la ausencia de aberraciones. La resolución es la capacidad de un objetivo de generar imágenes con gran nitidez y las aberraciones pueden ser de dos tipos: cromáticas y geométricas. Las cromáticas se deben a la distinta refracción que se produce en los colores al atravesar la lente, lo que conlleva la modificación del cromatismo de la imagen. Se suelen corregir mediante tratamientos de sus superficies con películas filtrantes. Las aberraciones geométricas, también llamadas distorsión, producen deformaciones en las imágenes. Están provocadas por un diseño defectuoso del objetivo o un pulido imperfecto de las superficies de las lentes. En las aplicaciones métricas de las fotografías, este tipo de aberraciones puede ser determinantes ante la posibilidad de usar las imágenes para tal fin.

Según la intensidad de la luz, se puede variar el tiempo de apertura y el diámetro del diafragma. Así un diafragma más pequeño, se acerca al ideal de la cámara oscura que producirá una imagen más nítida, y asegurará que la imagen esté enfocada para un determinado rango de distancias de la cámara al objeto (profundidad de campo). Para la fotografía arquitectónica es conveniente el uso de trípode, porque ayudará a elegir el diafragma que más interese.

Como se puede observar, la iluminación es un factor importante, no sólo en la configuración de la cámara, sino también porque una iluminación intensa puede provocar sombras acusadas que pueden impedir la visibilidad de detalles. Para exteriores, los días con nubes claras pueden ser adecuados, pero un día nublado puede tener iluminación todavía más adecuada porque no produce sombras sobre los objetos.

⁴⁰ Gracias a la tecnología CMOS es posible integrar más funciones en un chip sensor, como por ejemplo control de luminosidad, corrector de contraste, o un conversor analógico-digital.

Una de las ventajas que tienen actualmente las imágenes obtenidas mediante una cámara digital es que disponen de una especificación llamada EXIF (*Exchangeable image file format*). La especificación está disponible en formatos de archivos existentes como JPEG, TIFF y RIFF el formato de archivo de audio WAVE, a los que se agrega etiquetas específicas de metadatos, como fecha y hora, configuración de la cámara, información sobre localización e información sobre el copyright. Información que puede ser de gran utilidad sobre todo cuando se trabaja en el campo de la fotogrametría.

3.1.4. LA FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría es la técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y sus situaciones espaciales a partir de fotografías. A partir de una fotografía se obtiene la geometría de un objeto, y a partir de dos, se obtiene la información tridimensional del objeto debido a la zona común o de solape y por la visión estereoscópica. También utiliza los mismos principios que los sistemas topográficos porque determina direcciones en el espacio y mediante ellas, define la posición de determinados elementos de un objeto o edificio. Se basa en principios geométricos y matemáticos y por ello se considera una técnica muy rigurosa.

La fotogrametría es una técnica utilizada para el levantamiento arquitectónico mucho más antigua que el láser escáner. Dentro de los dos tipos que existen, de largo alcance (fotogrametría aérea) y de corto alcance, esta última es la utilizada para arquitectura.

La fotogrametría se divide en tres, terrestre, aérea y espacial. En la terrestre, los equipos se encuentran situados en el suelo, de manera que el eje de la cámara fotográfica es paralelo al plano horizontal y es la utilizada en arqueología y arquitectura. En cambio en la aérea, el eje se encuentra en un plano paralelo al vertical y los equipos se encuentran en el aire. Ésta se utiliza para cartografía y para la obtención de cubiertas de edificios. Por último, la espacial es la que utiliza las imágenes tomadas desde satélites.

En un breve recorrido por la historia de la fotogrametría, la preocupación por representar la tridimensionalidad de los objetos viene de la época clásica hasta el Renacimiento, Leonardo da Vinci y Durero fueron los primeros que investigaron las leyes de la perspectiva. En sí, la fotogrametría es un campo que empieza a investigarse hace un siglo y medio. En 1840 Charles Wheatstone inventó el estereoscopio. Este instrumento se basa en el método de la estereofotogrametría, y utiliza pares de fotografías obtenidas con ejes sensiblemente paralelos de tal manera que es posible observar las fotos estereoscópicamente. La visión estereoscópica o la estereoscopia es cualquier técnica capaz de recoger información visual tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad mediante una imagen estereográfica, un estereograma, o una imagen 3D (tridimensional). La ilusión de la profundidad en una fotografía, película, u otra imagen bidimensional se crea presentando una imagen ligeramente diferente para cada ojo, como ocurre en nuestra forma habitual de ver.

El nombre de “fotogrametría” se debe a Meydenbauer y una de sus primeras tareas fue en 1858, realizar el levantamiento de la catedral de Wetzlar a partir de pares de fotografías (Albertz 2001). Este arquitecto alemán creó el primer servicio de fotogrametría para la documentación de monumentos en Prusia en 1885 porque le interesaba la preservación del patrimonio y proceder a su reconstrucción en caso de catástrofe (Pereira 2013). Meydenbauer utilizaba el método de las intersecciones. Se trata de un procedimiento gráfico sobre el papel donde sus aplicaciones fotogramétricas consistían en conocer la posición precisa desde la que se había tomado cada fotografía y las direcciones de los ejes ópticos de la cámara en cada estación sin necesidad de costosos aparatos de restitución.

En Francia, la técnica de la fotografía estaba latente gracias al coronel Aime Laussedat. Utilizó la fotogrametría para realizar levantamientos topográficos de París e inventó el fototeodolito en 1959. En Austria, Eduard Dolezál, fundó en 1907 la Sociedad Austriaca de Fotogrametría y la Sociedad Internacional de Fotogrametría. Más adelante, Stolze (Kraus 2000) identificaría puntos homólogos en cada fotografía colocando una pequeña marca sobre cada imagen. Estas marcas se funden en una sola por la visión estereoscópica. De esta forma, con simples desplazamientos planos hasta que las marcas estuvieran situadas sobre puntos homólogos se resolvía el problema de las intersecciones y se conseguía realizar mediciones sobre las fotografías.

El periodo entre las dos guerras mundiales, produjo un gran avance en el desarrollo de instrumentos y métodos de trabajo fotogramétricos, consolidándola como la técnica para la obtención de cartografía (Buill, Núñez y Rodríguez 2007a). A partir de los años 60, la técnica se desarrolló gracias a la aparición del restituidor analítico y en los años 90, se convertirían en digitales debido al avance de la informática y del procesamiento de las imágenes digitales.

A lo largo de la historia de la fotogrametría, se han ido utilizando diversos instrumentos para la restitución fotogramétrica. Se pueden distinguir tres tipos de fotogrametría según el tipo de restituidor utilizado: analógica, analítica y digital. La analógica utilizaba un tipo de restituidor óptico o mecánico y la orientación se realizaba de forma manual. La analítica combinaba los restituidores analógicos con los cálculos realizados por computador. Por último, la digital, donde primeramente las imágenes eran digitalizadas pasaron a ser directamente digitales y los procesos de orientación automáticos realizados por ordenador.

En la época de los sistemas analíticos de restitución, era necesario que las cámaras fotográficas hicieran las fotografías con la perspectiva lo más precisa posible. De ahí que se utilizasen cámaras métricas. Estas cámaras tienen unas propiedades específicas para este fin, es decir, poseen una óptica prácticamente exente de distorsión, con un eje óptico rigurosamente perpendicular al plano de la imagen y con éste perfectamente plano e indeformable, garantizando así una geometría interna conocida e indeformable. Para reconstruir esta geometría interna era necesario conocer una serie de parámetros como son la precisión, la distancia principal de la cámara, la distancia entre el centro de proyección y el plano de la imagen. Por otro lado, el punto del centro de proyección quedaba marcado por cuatro marcas fiduciales en los bordes. Estas cámaras por lo general eran de gran formato y pesadas, de 24x24 cm para fotogrametría aérea y 13x18 o 6x9 cm para fotogrametría terrestre.

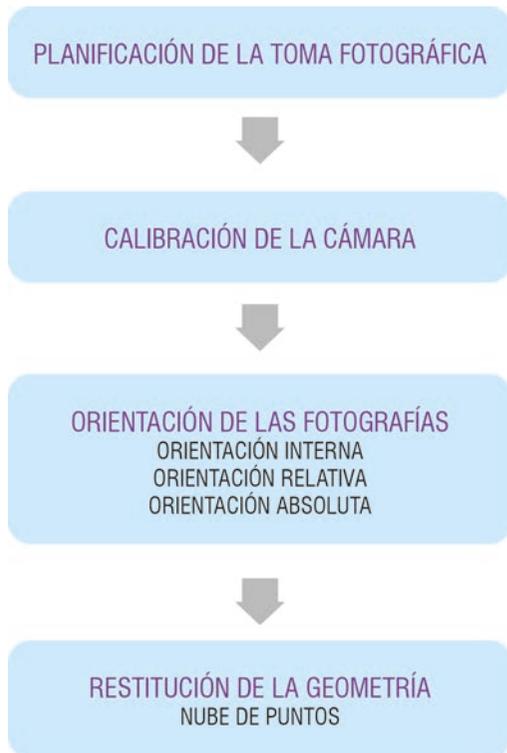


Figura 10. Metodología de la fotogrametría.
Fuente: elaboración propia.

Existieron en los años ochenta otras cámaras llamadas semimétricas. Disponían de una placa de vidrio con una retícula de cruces calibradas o retícula *reseau*. Antes de realizar las fotografías, se tenían que someter a una calibración en laboratorio para conocer su distancia principal en cada uno de los puntos de bloqueo del enfoque; la posición del punto principal referido a esa retícula y una fórmula que define el valor de la distorsión en función de la distancia al punto principal. La retícula se queda impresa en la fotografía, por comparación con la calibración de la *reseau* se podían determinar las deformaciones.

En la fotogrametría, el procesado de la información consta de la orientación interna, la orientación relativa y la orientación absoluta (fig. 10). La orientación interna, es la orientación de las imágenes en la posición correcta respecto a sus marcas fiduciales y la que permite reconstruir el haz fotográfico. Cuando la fotografía era analógica, se conocía de la imagen fotográfica la posición relativa de su centro de proyección. En el caso de la digital, se miden las esquinas de la fotografía y se toman las coordenadas del punto principal respecto a esas esquinas o distancia del centro de proyección al plano de la imagen que bien se toman del archivo de la calibración de la cámara y de aquí también los parámetros que definen la corrección de la distorsión.

La orientación relativa, es la determinación de la posición y orientación de una cámara con respecto a la otra, es decir, la orientación relativa entre dos o más imágenes para la indicación de los puntos homólogos en las diferentes imágenes. Este proceso se realiza ajustando los haces proyectivos. Como mínimo hay que conocer 6 puntos homólogos en 3 fotografías y al menos cada punto de control tiene que estar identificado en dos fotografías. En la digital, el programa trata de encontrar la dirección de la cámara que produce una intersección de los rayos homólogos de los haces con errores mínimos. Para mayor precisión, el ángulo formado entre la toma de dos fotografías consecutivas debería aproximarse a 90° . Es un método de correspondencia de imágenes digitales y para ello se usa el método de correlación o el de mínimos cuadrados, que reducen la impresión en la intersección de rayos del mismo punto en imágenes diferentes. Hasta aquí ya se obtiene el modelo tridimensional en forma de nubes de puntos.

Y por último, el sistema de orientación absoluta, es el que establece la relación entre el espacio de la imagen (modelo) y el espacio del objeto que por medio de una transformación permite dar la escala y posicionar el objeto tridimensional en el espacio. Se hace mediante los puntos de control, puntos medidos in-situ que dan las coordenadas del espacio objeto, por ejemplo, mediante un apoyo topográfico, y posteriormente identificados en el sistema de coordenadas imagen.

En los antiguos sistemas de restitución analítica, no existía limitación alguna en cuanto a distancias focales, ni en lo referente a giros o inclinación de la cámara. Las coordenadas obtenidas en el ordenador podían introducirse como datos directamente en cualquier programa de diseño asistido (CAD) y por tanto dibujarse en cualquier sistema de proyección y a cualquier escala. Actualmente, en los sistemas de restitución digital, la enorme velocidad de cálculo de los procesadores permite corregir mediante *software* errores sistemáticos de las imágenes producidos por deformaciones del soporte fotográfico o por distorsión del objetivo, lo que hace posible la restitución de fotografías obtenidas con cámaras convencionales en lugar de con las cámaras métricas.

En la solución analítica, la orientación de las imágenes y por tanto la obtención de las coordenadas de los puntos que conforman el objeto, utiliza la condición de colinealidad y la ayuda de puntos de control del terreno. Este método se conoce como intersección directa, y consiste en marcar el mismo punto en dos o más fotografías. Todas las rectas deberán cortarse teóricamente en el espacio en un solo punto, que es precisamente el punto real del objeto como se observa en la figura 11.

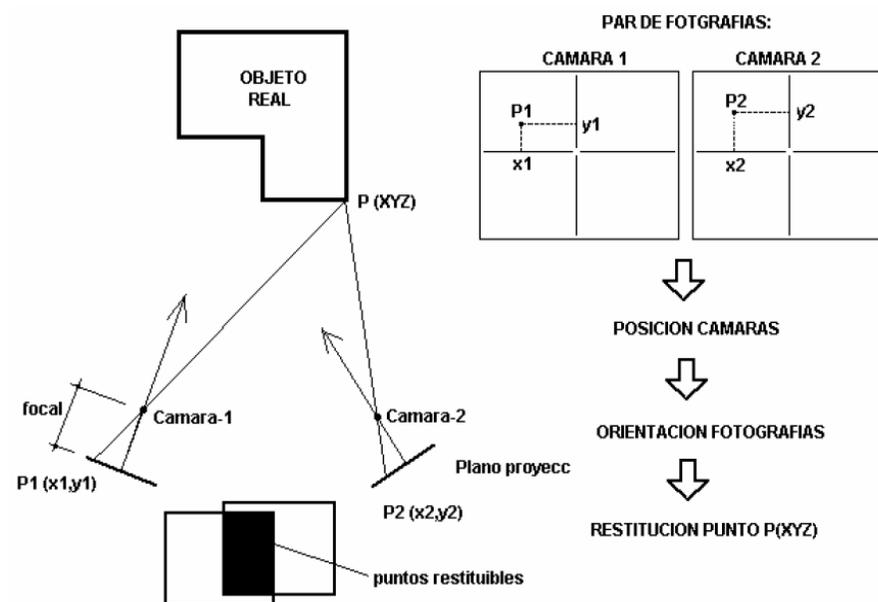


Figura 11. Proceso de la fotogrametría. Fuente: Santa Cruz (2003).

Para ello, se impone que las coordenadas del punto en la fotografía, el centro perspectivo de la cámara y el punto del objeto real estén sobre el mismo haz. Este sistema permitía encontrar las coordenadas de nuevos puntos, y en el caso de introducir otros parámetros como la distorsión radial y otros, permitiendo además conocer los parámetros internos en el caso de utilización de cámaras no calibradas (Buill, Núñez y Rodríguez 2007a).

Las ecuaciones paramétricas utilizadas para la obtención de las coordenadas del punto del terreno se llaman ecuaciones de colinealidad (Karara 1989) y establecen una relación entre el punto de la imagen fotográfica (x, y), el centro perspectivo de la cámara (X_0, Y_0, Z_0) y el punto real del objeto (X, Y, Z):

$$x = f \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = f \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

donde f es la distancia principal (focal de la cámara) y a_{ij} las componentes de la matriz rotación que relaciona ambos sistemas de referencia. El sistema al no ser lineal se resuelve mediante un ajuste de mínimos cuadrados a partir de unos valores aproximados de incógnitas e iteraciones sucesivas (Buill, Núñez y Rodríguez 2007a; Núñez et al. 2012).

De esta forma, el procedimiento consiste en ir marcando puntos homólogos sobre dos pares o más imágenes, con ángulos convergentes entre sí. Las coordenadas obtenidas sobre la imagen son las coordenadas espaciales que el *software* ha calculado analíticamente con programas de cálculo iterativo. De esta forma, corrige las deformaciones de las imágenes debidas a la distorsión, permitiendo la orientación simultánea de muchas imágenes, siempre que los puntos homólogos aparecen en tres o más de ellas. De este modo, no se necesitan cuatro puntos de control en cada par de fotografías, sino que estos sirven para todo el bloque. Así, las coordenadas del punto principal y la distancia focal operan como incógnitas, por lo que se puede autocalibrar la cámara y conocer el centro de proyección y los parámetros de corrección de la distorsión. Este aspecto es importante para la realización de un levantamiento con una cámara no métrica digital.

A día de hoy, el desarrollo de las tecnologías ha permitido el uso de la fotogrametría digital automatizada, bien sea estereoscópica o monoscópica, mediante la utilización de algoritmos para encontrar los puntos homólogos (o puntos clave) entre las diversas imágenes basándose en información radiométrica de la fotografía de forma automatizada. Así se genera una nube de puntos sobre el principio de la triangulación automática y por consiguiente, poder construir modelos tridimensionales métricos como se verá en el siguiente apartado. A esta metodología se le denomina *Structure from Motion* (SfM).

3.1.5. ESCANER 3D

En los años 90, investigadores americanos que trabajaban en el sector de láser tuvieron la idea de utilizarlo para el levantamiento de una plataforma petrolífera. Construyen así un instrumento que emitía impulsos de luz capaces de memorizar las coordenadas cartesianas de los puntos del objeto. Más adelante, comenzó a ser utilizado en el campo de la arquitectura (Docci y Maestri 2010). El láser apareció gracias a la utilización del láser sobre las estaciones totales. Esto las convertía en instrumentos capaces de medir distancias sin emplear el prisma reflectante (Martínez 2010). A su vez, los equipos empezaron a diseñarse con servomotores, por lo que se traducían en estaciones totales robotizadas y que posteriormente daría lugar al láser escáner, mejorando día a día en velocidad como en precisión (García-Gómez, Fernández de Gorostiza y Mesanza. 2011).

El láser escáner consta de dos componentes. El primero, de un láser que es el que mide las distancias y el segundo, un mecanismo de barrido (fig. 12). Este mecanismo, está compuesto por una serie de espejos motorizados que desvía el láser procedente del distanciómetro en dirección vertical y horizontal. Lo que consigue con ello, son valores angulares y la distancia a los elementos registrados. Por consiguiente, es capaz de calcular las coordenadas cartesianas, el RGB a partir de fotografías y la reflectancia de cada uno de los puntos obtenidos (Farjas, García y Zancajo 2010).

El láser manda un impulso de luz, ésta luz impacta sobre el elemento, parte de la energía la absorbe y parte la refleja. La reflejada es la que tiene que detectar para calcular las coordenadas de los puntos. Sobre este impulso de luz reflejada, influye el tipo de material y la longitud a la que se encuentren los objetos.

Actualmente, se encuentran varios tipos de láser. Por un lado, los que se montan sobre una plataforma móvil, como LiDAR (*Light Detection And Ranging*) o *Mobile Mapping* y por otro lado, las que comúnmente se llaman unidades estáticas. Entre estas últimas se pueden encontrar varias tipologías de láser. Los escáneres de “luz blanca estructurada”, “tiempo de vuelo”, “diferencia de fase” y los de “triangulación”.

Los escáneres de luz blanca estructurada proyectan un patrón de luz en el objeto y analizan la deformación del patrón producida por la geometría de la escena. El modelo puede ser unidimensional o de dos dimensiones. La ventaja de estos escáneres es la velocidad. En vez de escanear un punto a la vez, escanean múltiples puntos o el campo entero del panorama inmediatamente. Esto reduce o elimina el problema de la deformación del movimiento. Algunos sistemas existentes son capaces de escanear objetos en movimiento en tiempo real. Se usan para el escaneo de pequeños objetos, obras de arte rupestre o para cirugía estética.

Un escáner de tiempo de vuelo determina la distancia a la escena cronometrando el tiempo del viaje de ida y vuelta de un pulso de luz. Un diodo láser emite un pulso de luz y se cronometra el tiempo que pasa hasta que la luz reflejada es vista por un detector.

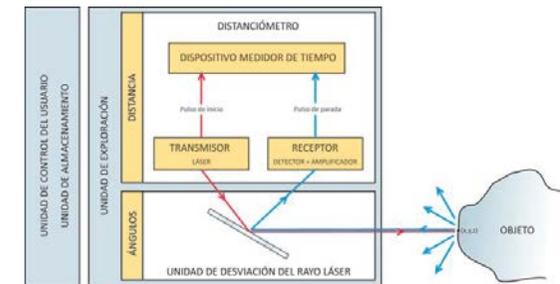


Figura 12. Funcionamiento láser escáner. Fuente: García-Gómez, Fernández de Gorostiza y Mesanza (2011).



Figura 13. Escáner tiempo de vuelo ScanStation2. Fuente: Docci y Maestri (2010).



Figura 14. Escáner de diferencia de fase, Faro Focus 3D. Fuente: [<http://www.faro.com/es-es/productos/topografia-3d/laser-scanner-faro-focus-3d/informacion-general>].

Como la velocidad de la luz C es conocida, el tiempo del viaje de ida y vuelta determina la distancia del viaje de la luz, que es dos veces la distancia entre el escáner y la superficie. Si T es el tiempo del viaje completo, entonces la distancia es igual a:

$$\frac{C * T}{2}$$

Claramente la certeza de un escáner láser de tiempo de vuelo 3D depende de la precisión con la que se puede medir el tiempo. T : 3,3 picosegundos (aproximadamente) es el tiempo requerido para que la luz viaje 1 milímetro.

En tiempo de vuelo, se utilizan láseres visibles (verdes) o invisibles (infrarrojo cercano). Sus características son: rápido muestreo, dispone de un sistema de medición (contador) que se reinicia al alcanzar el objetivo, suelen ser equipos de alta precisión (submilimétrica), apto para trabajos de alta precisión en monumentos o elementos constructivos (para el análisis de las deformaciones), generación de una alta densidad de puntos y frecuencia oscilante entre los 10.000-100.000 puntos. Un ejemplo de este tipo de láser es el Leica ScanStation2 (fig. 13).

El tercer tipo de escáner, el de diferencia de fase, mide la diferencia de fase entre la luz emitida y la recibida y utiliza dicha medida para estimar la distancia al objeto. El haz láser emitido por este tipo de escáner es continuo y de potencia modulada. Su alcance ronda los 200 m en condiciones de poco ruido (baja iluminación ambiente), y su error característico los 2 mm a 25 m. En algunos modelos el alcance está limitado precisamente por su modo de funcionamiento, ya que al modular el haz con una frecuencia constante, existe ambigüedad en la medida de la distancia proporcional a la longitud de onda de la modulación utilizada. La precisión de la medida también depende de la frecuencia utilizada, pero de manera inversa a como lo hace el alcance, por lo cual estos conceptos son complementarios, y se debe encontrar un punto de compromiso entre ambos o bien utilizar dos frecuencias distintas (*multi-frequency-ranging*). La velocidad de adquisición es muy alta, consigue velocidades de escaneo que oscilan entre los 100.000 y 1 millón de puntos por segundo, en función de la precisión requerida. Un resumen de sus características son: haz continuo y de potencia modulada, rango y precisión intermedio (100 metros en condiciones de baja iluminación ambiente), alcance limitado por el fenómeno de ambigüedad de la onda en función de la frecuencia utilizada, posibilidad de establecer un modo de multifrecuencia, tiempo de adquisición del producto intermedio y velocidades de escaneo comprendidas entre los 100.000 y el millón de puntos. Un ejemplo de este tipo de láser es el Faro Focus 3D (fig. 14).

El último tipo, es el escáner láser de triangulación que usa la luz del láser para examinar el entorno. El haz de luz láser incide en el objeto y se usa una cámara para buscar la ubicación del punto del láser. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara. Esta técnica se llama triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. La longitud de un lado del triángulo definido por la cámara y el

emisor del láser es conocida. El ángulo del vértice del emisor de láser se sabe también. El ángulo del vértice de la cámara (paralaje) puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio. La precisión de este sistema de medida puede ser muy elevada (milésimas de milímetro), pero depende del ángulo del vértice opuesto al escáner (cuanto más se aparte de 90° más baja es la precisión), lo que limita el tamaño de la escena a analizar. Dado que ese ángulo depende fuertemente de la distancia entre el emisor láser y la cámara, el aumentar el alcance supone incrementar mucho el tamaño del equipo de medida. En la práctica, el alcance máximo de estos escáneres se limita a 20-30 cm.

En cada caso, el resultado obtenido es una nube de puntos. Mañana-Borrazás, Rodríguez y Blanco-Rotea (2008) la definen como *miles de mediciones individuales en un sistema de coordenadas x, y, z, que en sí mismas componen un modelo tridimensional de los objetos registrados, aunque como tal conjunto de puntos sin procesado posterior, son un modelo muy simplificado que opera sólo visualmente, pues se compone únicamente de entidades singulares de tipo punto*. La cantidad de puntos, es la resolución. No siempre dar una resolución alta, es sinónimo de una mejor captura de datos. En la decisión de aplicar una resolución u otra, tiene que intervenir, el tipo de trabajo que se desee realizar, el fin del trabajo, la situación del objeto, la máquina que va a procesar, entre otros. Además la densidad de la nube de puntos también variará en función de la situación del objeto, su geometría y disposición del láser (fig. 15).

Tiene una gran libertad a la hora de su posición en la toma de datos desde un punto de vista ya que rota 360°, consigue una nube de puntos cuya previsualización ya tiene un carácter tridimensional del edificio, con la contraposición de la gran densidad de puntos y lo que es importante, no le importa que los objetos tengan o no textura como ocurre con la fotogrametría.

Con el uso de las dos técnicas, tanto con la fotogrametría y el láser escáner existe una misma problemática, la zona de sombra. Son zonas que quedan ocultas por otros objetos, como árboles, coches, etc. o zonas a las que el barrido no puede acceder. Como solución, se tendrán que realizar más tomas desde otros puntos de vista. Para ello hay que tener una previa planificación de la situación del escáner ensamblándose posteriormente mediante puntos comunes para obtener la nube de puntos completa.



Figura 15. Nube de puntos del interior de la iglesia San Miguel. Fuente: elaboración propia.

4. CONTEXTO DE GESTIÓN Y CATALOGACIÓN ARQUITECTÓNICA

4. CONTEXTO DE GESTIÓN Y CATALOGACIÓN ARQUITECTÓNICA

Una vez visto en el capítulo anterior el alcance del concepto de patrimonio, legislación, administración y organismos internacionales dedicados a la tutela del patrimonio y la documentación del patrimonio, se trata a continuación la gestión y catalogación arquitectónica.

En las últimas décadas del XX, la conciencia de la protección del patrimonio ha ido en aumento. Así con el comienzo de las normas protectoras del Patrimonio, se empieza a originar un modo de gestión del patrimonio basado en una estructura administrativa centralizada y burocrática, en la que se ve al patrimonio cultural con potencial para desarrollar recursos económicos y calidad de vida a los ciudadanos.

Querol (2010) define a la gestión del Patrimonio Cultural como *el conjunto de actividades destinadas a la protección y difusión de los bienes del Patrimonio Cultural; la mayoría de ellas llevadas a cabo por distintas administraciones públicas (...) cuyo propósito es el de proteger, conservar en su caso y difundir los bienes culturales para que puedan ejercer la función social por la que se definen y para que puedan ser transmitidos a las generaciones futuras*. Muchas de las acciones que van a ayudar a la gestión del patrimonio cultural son las de conocer, planificar, controlar y difundir, por este orden. Muchas veces, no se puede proteger aquello que no se conoce; se planifica, es decir, se programa lo que en el futuro se va a hacer con esos bienes culturales; se controla mediante todas las normativas existentes y por último se difunde o entrega a la sociedad los bienes patrimoniales.

Uno de los objetivos de la Ley 12/2002 de Patrimonio de Castilla y León es la necesaria articulación de un sistema adecuado para la protección y tutela de los bienes sobre el territorio de la comunidad, es decir, su gestión, cuya finalidad sea el conocimiento, protección, acrecentamiento y difusión de su patrimonio, así como su investigación y transmisión a las generaciones futuras. De esta forma, se configura una categoría y grado de protección como BIC, como máxima protección y un inventario de bienes con grado medio de protección, como instrumentos diferenciados para llegar a cabo dicha política⁴¹. Esto es así porque éste y cualquier otro instrumento de intervención en el patrimonio cultural sólo pueden alcanzar sus fines cuando se dispone de un catálogo o inventario de los bienes susceptibles de tutela, protección, conservación y puesta en valor que controle una gestión eficaz de nuestra herencia cultural.

⁴¹ No todas las comunidades autónomas diferencian entre dos instrumentos, uno para incluir un BIC y otro para los bienes Inventariados con grado medio de protección en el que incluiría a Castilla-La Mancha, País Vasco, Cataluña, Madrid, Baleares, Extremadura, Asturias, Castilla y León y Andalucía. En segundo lugar, un solo Registro en el cual se integran todo tipo de bienes Declarados, Catalogados e Inventariados entre las que se incluyen Galicia, Valencia, Cantabria, La Rioja y Navarra. Y en tercer lugar, con más de dos instrumentos o unidades oficiales de Registro como Aragón y Canarias (Querol 2010).

Análogamente, una de las acciones llevadas a cabo por el Plan PAHÍS es la definición de criterios para la redacción de un inventario de espacios patrimoniales, asignándoles el grado de protección más acorde con los valores que caractericen cada espacio, con vistas a su protección, conservación, gestión y ordenación. Junto con una sistematización del inventario, han pretendido, establecer los mecanismos de conexión entre bases documentales de patrimonio histórico y los sistemas de información geográfica y territorial. Además, han desarrollado tareas de actualización de bases de datos, digitalización de planimetrías y documentación de los bienes, mediante la elaboración de un catálogo con todos los bienes existentes en los municipios de Castilla y León.

Ante estas premisas, ¿para qué sirve la catalogación? Sirve para saber cuáles son los bienes de un territorio, para establecer un registro, dónde están, en qué estado se encuentran, quién los posee, cómo se usan, en que tipo de suelo se sitúan, qué riesgos corren a corto y medio plazo, qué pasado han tenido y qué futuro pueden tener. Este registro permite jerarquizar los bienes según importancia con el fin de tomar decisiones sobre el grado de protección, BIC o Catalogados. El propósito es que el catálogo sea una herramienta que permita conocer la magnitud, el valor y el estado del patrimonio histórico, a la vez que un instrumento apto para tomar decisiones y poner en marcha acciones o medidas relacionadas con la conservación, protección y puesta en valor de una herencia importante como recurso del territorio y componente del paisaje (Cañizares 2009).

Entre la disyuntiva de catálogo o inventario, en principio, se tenía la idea de que “inventario” era un listado de bienes considerado como trabajo menor, mientras que “catálogo” suponía una mayor documentación del bien. Posteriormente con las normas urbanísticas, se prefijó que catálogo pertenece más bien a los bienes inmuebles e inventario se identifica con los bienes muebles. También se puede establecer que inventarios del Patrimonio Cultural equivalen al listado de bienes de uno u otro tipo, con más o menos documentación, destinados a su conocimiento, que han sido publicados en el Boletín Oficial y tienen un tipo de protección.

Para Alonso (2005) los catálogos son una *técnica de agrupación o recopilación de una serie de bienes dotados de una cierta homogeneidad con el fin de protegerlos y conservarlos*. Además, Fernández (2004) puntualiza que la catalogación es *una herramienta de trabajo con formato de documento que se obtiene mediante el proceso sistemático de trabajo que precisa de una determinada metodología científica y que adquiere interés desde una doble dimensión*.

Incluso, se pueden encontrar además de los conceptos de inventariar o catalogar, otras acepciones como registrar o documentar, y Valle Melón (2007) las define de la siguiente manera. La primera de ellas, registrar un bien, significa calificarlo como una entidad patrimonial, como también la acción de almacenar características del elemento patrimonial. Y la segunda, supondría administrar la información existente sobre el bien. Aunque de aquí en adelante nos vamos a referir como la acción de catalogar, para el archivo de los bienes arquitectónicos.

Más aún, la catalogación se ha considerado como una base para la planificación de tutela, en el mantenimiento y restauración de los bienes más necesitados de una intervención. Esta elaboración estuvo abordada por diversas normas en distintas épocas con la finalidad de servir de instrumento de conocimiento.

De hecho, el Real Decreto de 1 de junio de 1900, por el cual se formulaba un Catálogo Monumental y Artístico de la nación, ordenaba la catalogación completa y ordenada de las riquezas históricas o artísticas de la nación. Este catálogo nunca llegó a concluirse, porque cada comunidad autónoma y cada provincia utilizaron unos instrumentos que no pusieron en común. Hoy en día se utilizan para el registro del estado de conservación en que estuvieron esos bienes durante los años de la elaboración. Debió de constituir en su época una empresa revolucionaria, ya que fue el primer instrumento sistemático de conocimiento de la riqueza histórica y artística de la nación con relación directa de las labores de protección y conservación. Se utilizaba la fotografía como instrumento fundamental de documentación gráfica. Pero la falta de criterios comunes en la elaboración, la prematura temporal y la duplicación de contenidos, hicieron que sus resultados no cumplieran totalmente sus contenidos (Muñoz 2010) (fig. 16).

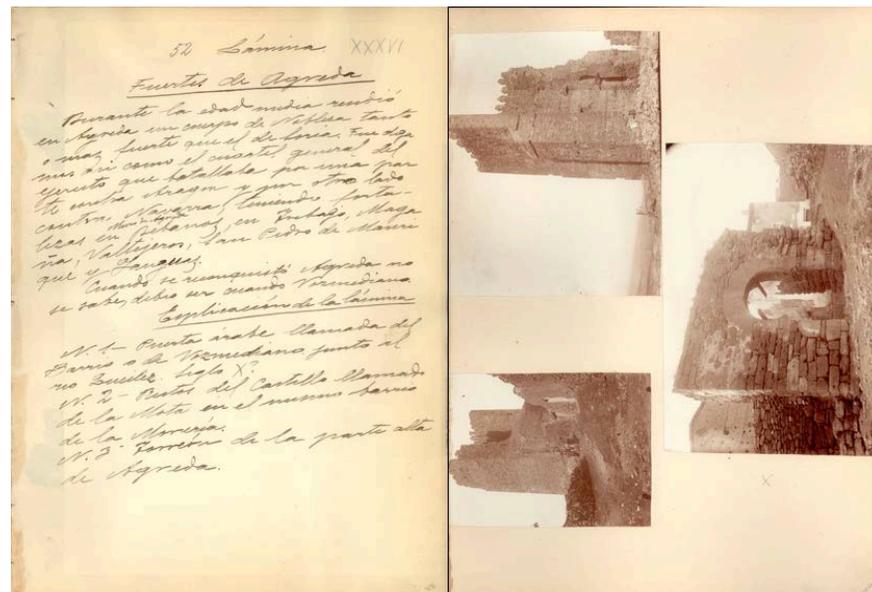


Figura 16: Catálogo Monumental de la provincia de Soria (1900-1961), Tomo V, Arquitectura militar de la Edad Media por Juan Cabré Aguiló. Fuente: [http://aleph.csic.es/imagenes/mad01/0010_CMTN/html/001475816_V05TF.html#page/1/mode/2up].

De ahí, que el resultado de la historia de la catalogación y la problemática, haya derivado en una falta de concepción general acerca de la actividad administradora de la catalogación, por lo que la ausencia de normas específicas en esta tarea, ha sido una ineficaz herramienta por estar considerada como una actividad secundaria, cuando debería haber sido la actividad principal para obtener el suficiente conocimiento de los bienes a proteger (Alonso 2005).

Por este motivo se produjeron acuerdos internacionales con instituciones sumamente implicadas en el tema patrimonial. La Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural de 1972 con la UNESCO, hace referencia a la necesidad de la elaboración de inventarios del patrimonio cultural y natural por parte de los estados. Asimismo el Consejo de Europa, mediante el Convenio para la Salvaguardia del Patrimonio Arquitectónico en Europa (Granada, 1985) señala la necesidad de elaboración de inventarios (Muñoz 2007). De la misma forma que proyectos como Herein⁴², Minerva⁴³ y DigiCult⁴⁴ se han gestado para el intercambio de información sobre la protección del patrimonio.

En consecuencia, el ICOMOS y otras organizaciones profesionales han establecido una serie de procesos básicos y fundamentales para la documentación de un bien. En primer lugar, establecen la constitución de un registro para tener identificados cada uno de los objetos patrimoniales, es decir, para los bienes inmuebles equivale a la declaración del bien y su inclusión en la lista de bienes a proteger. En segundo lugar, la catalogación. Se trata de catalogar cada objeto, es decir, documentar a fondo cada objeto hasta crear una base documental. Esta base está compuesta por una ficha de inventario, con una fotografía y una planimetría del bien. Y en último lugar, proponen la realización de un seguimiento, o sea, un control mediante inspecciones para verificar el mantenimiento del objeto y así también evitar el expolio.

Igualmente, el Reglamento de la Ley del Patrimonio Histórico Español de 1986, incluye en su publicación, la figura básica de Inventario. Es una cuestión debatida porque no se sabe con certeza qué características son las importantes, sobre todo de cara al futuro, y sobre el tratamiento documental para las categorías intermedias. De esta forma, una primera inscripción el bien constará de una ficha administrativa con el siguiente contenido:

⁴² Proyecto Herein (1999-2003). Programa para facilitar el intercambio de información sobre políticas de patrimonio de los Estados miembros a través del portal European Heritage Network. [<http://www.europeanheritage.net/sdx/herein/index.xsp>].

⁴³ Proyecto Minerva (2001-2005). Programa para coordinar los proyectos de digitalización de los Estados miembros a través de sus Grupos de Representantes Nacionales en políticas de digitalización (NRGs). [<http://www.minervaeurope.org/home.htm>].

⁴⁴ Proyecto DigiCult (2002-2006). Programa para promover el acceso y la preservación de los contenidos culturales y científicos europeos. [http://www.cordis.lu/ist/directorate_e/digicult/index.htm].

- datos sobre el bien objeto de la inscripción: denominación, descripción, datos históricos, bibliografía y fuentes documentales, estado de conservación, uso si se trata de un inmueble, localización y delimitación.
- datos administrativos: número de expediente, incoación, instrucción y trámites, resolución, notificación y comunicaciones.
- documentos gráficos: fotografías y planos.
- situación jurídica: titulares propietarios, poseedores y titulares de derechos reales.

Dichos contenidos son inferiores que los que tendría un documento de investigación, por ejemplo. Son los datos utilizados para las fichas en papel, que actualmente se han ido actualizando a una base de datos informatizada, pero como tal, no incorporan ciertos tipos de datos.

4.1. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN EL ÁMBITO AUTONÓMICO

La situación hasta hace unos años era que los inventarios no existieran o se limitasen a meros listados de carácter parcial, por lo común elaborados para promover alguna intervención aislada o para crear conciencia del valor de estos recursos en ámbitos locales. Por lo general, este material se encontraba disgregado en las administraciones, en distintos formatos y poco accesible. La catalogación tradicional del patrimonio histórico era una técnica basada en la realización de fichas en formato papel, individualizadas para cada uno de los elementos, lo que había provocado una visión inconexa y no relacionada de los bienes. Este modo resultaba insuficiente para transferir la riqueza del bien patrimonial a la sociedad y respetar su conservación al mismo tiempo. Por tanto el problema debía ser abordado globalmente, para que la información se utilizara de forma eficiente en la propia administración, y fuera accesible a otras instituciones y a los ciudadanos en general.

Actualmente con el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información, ha habido un replanteamiento sobre los métodos de trabajo en el campo del patrimonio cultural. Ha supuesto una renovación en la metodología de análisis, información, organización y gestión del patrimonio histórico de cada territorio. La creación de Sistemas de Información en el ámbito del patrimonio responde a la necesidad de gestionar y catalogar un gran volumen de información por parte de los organismos competentes, las Comunidades Autónomas. Por ello, las instituciones implicadas en la gestión de dicho patrimonio utilizan en la actualidad sistemas de información para cubrir la demanda de información, catalogación, gestión y difusión del patrimonio.

Para entender mejor el concepto de sistema de información, Bolea y De Diego (2001) lo definen como *una estructura organizada con relación funcional entre sus componentes*, y en relación con el Patrimonio Cultural, es una herramienta válida para la tutela administrativa.

Un sistema de información de una región administra datos referentes a la documentación de los bienes del patrimonio inmueble, mueble, arqueológico y etnográfico, entre otros, catalogados de su territorio. En relación al patrimonio arquitectónico, gestiona información alfanumérica, como emplazamiento, descripción, estilo, historia, bibliografía y régimen de protección, en la línea de los estándares internacionales en cuanto a documentación. Además de información alfanumérica, un catálogo de bienes, también puede albergar relaciones con otros bienes, imágenes, planos y otros documentos.

Estos estándares internacionales se crearon en el Reino Unido, la Comisión Real sobre los Monumentos Históricos de Inglaterra junto con el Consejo de Europa, propusieron el *Core Data Index to Historic Buildings and Monuments of the Architectural Heritage* (Thornes y Bold 1998). Se trata de un grupo de trabajo compuesto por miembros procedentes de organizaciones del patrimonio de Francia, Alemania, Holanda, Suecia y el Reino Unido, que realizó una propuesta para documentar el patrimonio arquitectónico. Caracterizaron los edificios y sitios históricos por su nombre, ubicación, tipo funcional, fecha, arquitecto, historia, técnicas y materiales utilizados, condición física y estado de protección. Fue un punto de partida para definir modelos de datos para almacenamiento digital, en centros de documentación y en otros lugares donde era necesario para la comprensión detallada y cuidada de los monumentos individuales. Propuso el conjunto mínimo de elementos y especificaciones técnicas para el registro de todos los edificios de interés histórico y arquitectónico de cada estado o institución (Bold 2009).

4.1.1. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE PATRIMONIO DE CASTILLA Y LEÓN

Los ejemplos sobre los que está girando la investigación realizada y en concreto el caso de estudio elegido, el patrimonio de Ágreda, se encuentran gestionados por el Sistema de Información de Castilla y León. La Dirección General de Patrimonio Cultural de la Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León ha creado un Sistema de Información Integral de Gestión del Patrimonio Cultural llamado PACU.

Con esta iniciativa, una vez completados los inventarios de las nueve provincias de Castilla y León, se pudieron realizar comparaciones, cruzar datos y concebir acciones de conjunto para los bienes situados sobre este territorio. Anterior a la creación de los sistemas de información, los inventarios de esta comunidad se componían por un conjunto de fichas sobre cada elemento o bien patrimonial registrado mediante una base de datos EXCEL con los datos esenciales, con una serie de anexos documentales, fotográficos, cartográficos y una serie de testimonios orales y audiovisuales.

PACU permite llevar a cabo la gestión y administración todos los bienes de interés cultural de la región y todos aquellos que puedan tener algún tipo de interés histórico o cultural, incluyendo construcciones arquitectónicas, bienes muebles, yacimientos arqueológicos y conjuntos etnográficos. El modelo cuenta con una ficha identificativa y descriptiva, con autorizaciones,

procedimientos y trámites administrativos, declaraciones de Bien de Interés Cultural e intervenciones realizadas a los bienes. Además incorpora ubicación territorial y georreferenciación por coordenadas (fig. 9) (Fernández, García y Ramos 2008).

El sistema consta de un catálogo web de uso exclusivamente interno, si bien a través del portal web de la Junta de Castilla y León se ofrece acceso público a cierto tipo de información, como las coordenadas a través de un visor geográfico básico y una breve ficha catalográfica (como se vio en la figura 6). Toda la información geográfica se encuentra en el sistema geodésico de referencia oficial en España ETRS89⁴⁵ (European Terrestrial Reference System 1989) en proyección UTM 30N.

La aplicación web está desarrollada con es J2EE con *framework Struts* y los datos se gestionan en una base de datos Oracle. La aplicación está desplegada en un servidor de aplicaciones Oracle OAS 10.1.2. El visor de datos geográficos, trabaja con un GIS basado en sistemas ESRI que mediante la herramienta de escritorio ArcMap realiza análisis avanzados espaciales cuya información está en una base de datos ArcSDE sobre Oracle que dispone de la información de los bienes declarados de interés cultural y su zona de delimitación.

Las ventajas que ofrece este sistema, es evitar la duplicidad de información dentro de la misma Comunidad Autónoma, ya que sólo hay un catálogo único al que acceden todos los usuarios y posibilita la realización de informes orientados a la planificación y toma de decisiones. También PACU está considerado como un proyecto vivo por lo que todavía intenta dar respuesta a diversas necesidades (fig. 17).



Figura 17. Pantallas del sistema PACU sobre la puerta Califal. Fuente: Junta de Castilla y León, Dirección General de Patrimonio Cultural.

⁴⁵ ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989): [<http://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35986-35989.pdf>].

4.2. EL PLANEAMIENTO URBANÍSTICO

Además de los Sistemas de Información, el planeamiento urbanístico también se va a utilizar como un instrumento de protección sobre algunos bienes inmuebles integrantes en dicho patrimonio.

El Planeamiento urbano y rural consiste en tomar decisiones sobre el uso del suelo, y es en ese suelo donde se encuentran los bienes inmuebles que son objeto de proteger. El planeamiento territorial basa sus prácticas sobre la Ley del Suelo, siendo un instrumento legal para proteger el suelo de su explotación y distribuir cargas.

Según Alonso (2005) el planeamiento urbanístico es el instrumento que establece el régimen de intervención tanto en espacios culturales como en su entorno, al cual se vincula el ejercicio de la catalogación. La palabra y el concepto de catálogo, referido al documento de salvaguarda de las edificaciones históricas aparecen en la legislación urbanística. Además Alonso define al Catálogo Urbanístico como:

Se va a presentar en la legislación de algunas Comunidades Autónomas como instrumento que tiene una doble naturaleza jurídica: instrumento de ordenación urbanística e instrumento de protección del patrimonio cultural, y desde ambas normativas se va a predisponer de un régimen jurídico conexas que define un único estatuto jurídico para los bienes que a ellos accedan y para el espacio que conformen.

La Ley del Patrimonio Histórico Español establece de esta forma, una conexión entre el Planeamiento territorial y protección de los bienes culturales inmuebles más importantes, por lo que se obliga a los Ayuntamientos a redactar un Plan Espacial que refleja la Ley del Suelo. Lo mismo que establece esta ley, también se establece esta conexión entre la normativa de las comunidades autónomas (fig. 18).

INSTRUMENTOS DE PROTECCIÓN DE LOS BIENES INMUEBLES DE CASTILLA Y LEÓN

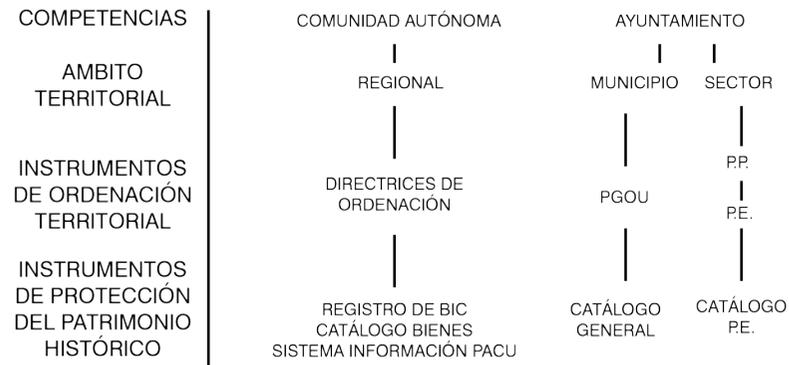


Figura 18: Instrumentos de protección de los bienes inmuebles de Castilla y León. Fuente: elaboración propia.

Los Catálogos aparecen en la reforma de la Ley del Suelo de 1956, y posteriormente en el Texto Refundido de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana de 1976. En el artículo 25, se refiere a la catalogación como técnica al servicio de la conservación y con la misión de individualizar los bienes, aunque se vincula exclusivamente a los Planes Especiales de Protección de edificaciones y espacios que presentan interés desde el punto de vista cultural o natural, además contienen relaciones de los monumentos, jardines, parques naturales o paisajes que por sus singulares valores o características hayan de ser objeto de una especial protección.

El artículo 84 del reglamento de urbanismo de Castilla y León, mantiene que el Plan General de Ordenación Urbana debe catalogar todos los elementos del término municipal que merezcan ser protegidos, conservados o recuperados por sus valores naturales o culturales, presentes o pasados. Además se debe de indicar el grado de protección, los criterios, normas y otras previsiones que procedan para su protección, conservación y recuperación. Según el artículo 115, debe contener un catálogo que recoja las determinaciones escritas y gráficas sobre catalogación de los elementos y debe incluir la información suficiente para la identificación de cada uno de sus elementos y de los valores singulares que justifiquen su catalogación, además de las medidas de protección, conservación y recuperación que procedan en cada caso.

Para su realización, la Instrucción Técnica Urbanística del 2/2006 establece una normalización de los instrumentos de Planeamiento Urbanístico sobre los criterios de catalogación, los grados de protección y los criterios de intervención de los elementos catalogados, de este modo, las fichas de los elementos catalogados, incluyen lo siguiente:

- Identificación del elemento a catalogar, con foto, plano de situación y referencia catastral.
- Valores que justifican su catalogación.
- Grado de protección.
- Denominación legal (en su caso).
- Condiciones particulares y/o actuaciones propuestas.
- Plano/s de localización de los elementos catalogados.

Además, en el artículo 42, se menciona que la formación de los Catálogos podrá ser por remisión a los Planes Parciales, con distintas reglas al anterior. La naturaleza del Catálogo, según el artículo 86.2 como *documentos complementarios de las determinaciones de los Planes Especiales*, pudiendo complementar aún así a los Planes Generales y Normas Subsidiarias, con ausencia de carácter normativo y de carácter complementario y que en caso de que un bien no estuviera incluido en el catálogo no impidiera que se tomasen medidas complementarias de protección en ambos casos. Es decir, el Catálogo es un instrumento y un elemento accesorio al planeamiento.

4.2.1. NIVEL JURÍDICO LOCAL

El nivel jurídico local está constituido por los Ayuntamientos colaboran sobre la protección del patrimonio local. Pero no siempre disponen de los recursos técnicos, humanos y económicos para hacer frente a la conservación y gestión del patrimonio.

La gestión del patrimonio local viene reflejada en la legislación urbanística local. La ley de Suelo otorga a los Ayuntamientos muchas facultades para ordenar el territorio, sobre todo en la relación a los Planes Especiales que son los responsables de inscribir, catalogar y proteger a los bienes inmuebles, no siempre acertadamente.

Los Planes Especiales son las figuras de planeamiento que tienen por objeto los cascos históricos y surgen de la necesidad de concretar una normativa muy amplia como son los Planes Generales a una aplicación más específica de fragmento de ciudad, *cuya compleja información le confiere un grado de particularidad difícil de abordar desde una figura de planeamiento más genérica* (Annuncio 2003).

La Ley del Patrimonio Histórico Español, según su artículo 20, establece como obligación municipal la redacción de un Plan Especial cuando hubiera que tratarse sobre un municipio, un Conjunto Histórico, Sitios Históricos o Zonas Arqueológicas como Bienes de Interés Cultural.

Según el artículo 145 del Reglamento de Urbanismo de Castilla y León referente a Planes Especiales de Protección establece que éstos tienen por objeto preservar el medio ambiente, el patrimonio cultural, el paisaje u otros ámbitos o valores socialmente reconocidos. Un Plan Especial de un Conjunto Histórico, supone la protección de todos los elementos que lo componen, y lo difícil está en establecer una diferencia entre lo que hay que proteger y lo que hay que conservar. Para ello se identifican los elementos individuales de interés, catalogándolos según distintos grados. Por ello, en el artículo 43 de la Ley 12/2002, establece que, los instrumentos de planeamiento a que se refiere este artículo contendrán al menos:

- un catálogo exhaustivo de todos los elementos que conformen el área afectada, incluidos aquellos de carácter ambiental, señalados con precisión en un plano topográfico, definiendo las clases de protección y tipos de actuación para cada elemento.
- los criterios relativos a la conservación de fachadas y cubiertas e instalaciones sobre las mismas, así como de aquellos elementos más significativos existentes en el interior.
- los criterios para la determinación de los elementos tipológicos básicos de las construcciones y de la estructura o morfología del espacio afectado que deban ser objeto de potenciación o conservación.

Las figuras de protección integral, estructural o ambiental, es muy probable que encierren cierta ambigüedad ya que por regla general la formulación del catálogo se realiza sin conocimiento de edificio, pero parece evidente también que no se exija un grado exhaustivo de conocimiento para cada uno de ellos (Arnuncio 2003).

Siguiendo con el ejemplo de Ágreda, con fecha 11 de mayo de 1994 se publicó el Decreto 98/1994 de 5 de mayo de la Junta de Castilla y León por el que se declaró Bien de Interés Cultural con la categoría de Conjunto Histórico a favor de la villa de Ágreda. El inicio de los trámites de la declaración se remonta al año 1975, cuando la Dirección General de Patrimonio Artístico y Cultural, por resolución del 30 de octubre incoó expediente de declaración de Bien de Interés Cultural con la categoría de Conjunto Histórico (fig. 19 y 20).

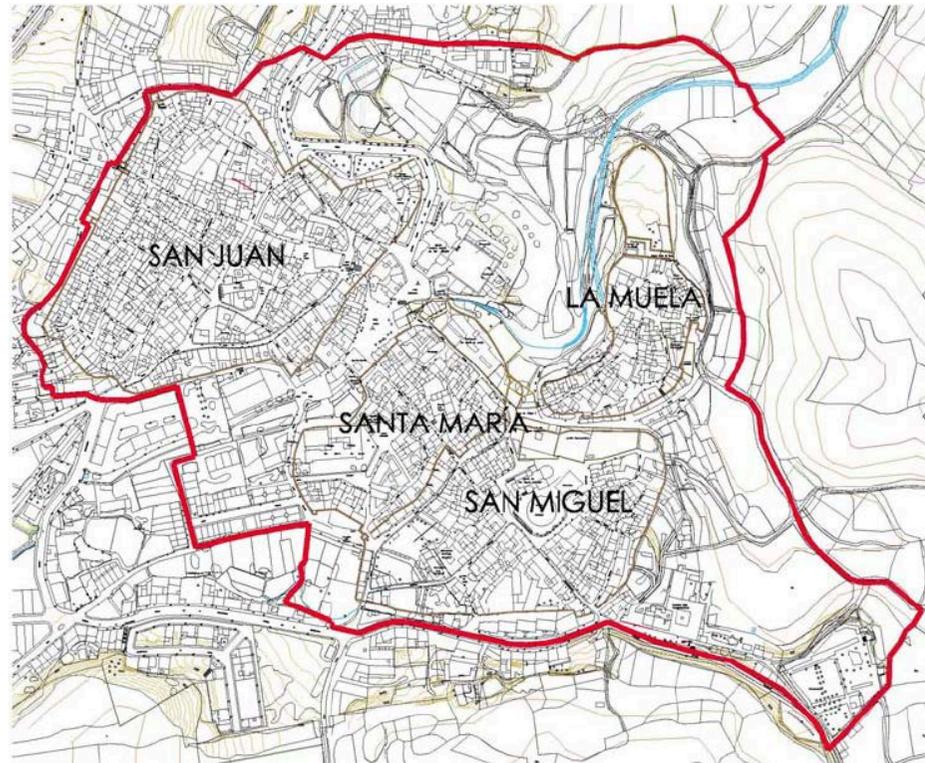
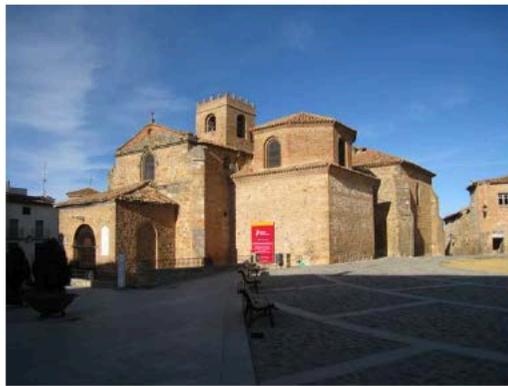


Figura 19: Delimitación del Plan Especial de Protección del Conjunto Histórico de Ágreda. Fuente: Serrano (2012).

PLAN ESPECIAL DE PROTECCIÓN DEL CONJUNTO HISTÓRICO DE AGREDA
CATÁLOGO DE BIENES PROTEGIDOS

FICHA Nº: I-21	
IGLESIA DE SAN MIGUEL	
TITULARIDAD:	Privada (Obispado)
SITUACIÓN:	Plaza de San Miguel
REF. CATASTRAL:	9943001WM8394S
DECLARACIÓN B.I.C.:	NO
TIPOLOGIA :	MONUMENTO
ÉPOCA:	s. XII s.XV
ESTILO:	ROMANICO GOTICO



DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA	
Iglesia de mampostería y sillares de piedra	
ALTURA:	
CUBIERTA:	TIPO: Inclinada. Varas Aguas MATERIAL: Teja cerámica árabe
FACHADA:	COMPOSICIÓN: MATERIAL: Piedra CARPINTERÍAS: Madera
ESTRUCTURA:	VERTICAL: Muros de carga de piedra HORIZONTAL Y CUBIERTA: Madera
ELEMENTOS DE INTERÉS:	Torne campanario almenada Retablo plateresco y capillas interiores.
USOS	
PLANTA BAJA:	Religioso
PLANTAS SUPERIORES:	
ESTADO DE CONSERVACIÓN:	BUENO
Elementos negativos:	
CONDICIONES DE PROTECCIÓN:	
Criterios de valoración: Interés histórico y artístico	
Objetivos:	PROTECCIÓN INTEGRAL
Conservación estricta	ELEMENTOS A CONSERVAR:
	ESTRUCTURA X
	VOLUMETRÍA X
	FACHADA X
	CUBIERTA X
	COMPOSICIÓN FACHADA X
	DISTRIBUCIÓN INTERIOR X
	MUECOS X
	ARCOS
	BLASÓN / ESCUDO
	OTRA ORNAMENTACIÓN X
	CARPINTERÍAS X
	OTROS
Observaciones:	

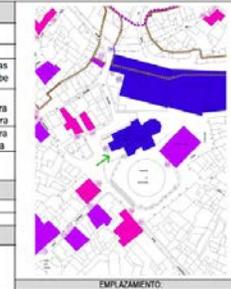


Figura 20. Ficha del Catálogo de la iglesia de San Miguel del Plan Especial de Protección del Conjunto Histórico de Ágreda. Fuente: Serrano (2012).

Está claro que los dos tipos de “catálogos” vistos sobre la comunidad autónoma de Castilla y León y sobre el municipio de Ágreda, tienen diferente función. El Sistema de Información PACU, es un sistema informatizado que tiene el objetivo de registro de todos los bienes sobre el territorio de la comunidad, con la asociación de todo tipo de datos referente al bien y documentos esenciales que permiten los aspectos antes mencionados como la protección, tutela, conservación y puesta en valor. En cambio, un catálogo urbanístico, aparte de ser un documento en papel y redactado por el arquitecto encargado, establece los criterios específicos para ejercer el protección sobre el bien. Que de realizar obras sobre los bienes ubicados en el catálogo, quien las supervisa es la sección de Patrimonio de la Junta de Castilla y León, cuya acción razonable sería establecer algún tipo de vínculo o relación entre ellos, ya sea incorporando dichas fichas al sistema de información o vinculando como datos anexos.

5. PRINCIPIOS DE LA CONSERVACIÓN ARQUITECTÓNICA

5. PRINCIPIOS DE LA CONSERVACIÓN ARQUITECTÓNICA

Como se ha visto anteriormente, numerosas cartas, recomendaciones, normativa están redactadas de cara a la protección del patrimonio, cuyos principales objetivos son la conservación. En nuestro país, el artículo 46 de la Constitución Española de 1978, obliga a los poderes públicos a garantizar una correcta conservación del patrimonio histórico, cultural y artístico del país, sin distinción de régimen jurídico ni titularidad. Los artículos 148 y 149, además, establecen que las Comunidades Autónomas asuman las competencias en lo que respecta al Patrimonio de su interés, y a su vez tendrán capacidad para legislar sobre ello.

Para comenzar, la definición de conservación según Bernard Feilden (2004) es la acción realizada para prevenir el deterioro y la gestión dinámica de la variación, comprendiendo todos los actos que prolongan la vida del patrimonio cultural y natural.

Ante ello, administraciones y profesionales siguen el mandato de la Conferencia General de la UNESCO sobre el Patrimonio, que mantiene que *deben trabajar por la salvaguardia de los bienes culturales entendiéndolos como el conjunto de actuaciones que garantizan su conservación, tales como identificación, protección, restauración, rehabilitación, mantenimiento y revitalización.*

Además, *"...the conservation (...) must respect the identity and the values of the monument, and maintain his authenticity and integrity..."* (Carta de Cracovia).

La diversidad de las categorías de patrimonio, de los métodos de construcción o planificación ha hecho que aceptemos normas variables para una conservación auténtica, que tiene en cuenta las diferentes interpretaciones del concepto autenticidad según las distintas tradiciones culturales, valores de identidad o de autenticidad que están relacionados con la significación de las obras arquitectónicas o con el concepto de la representación social de un bien cultural. Se estipula que las acciones realizadas en esta herencia sean serias y prudentes, auténticamente sensatas, ya que como decían los antiguos latinos, *lo primero es no dañar*, pues una intervención negativa muchas veces provoca daños irreparables.

La conservación abarca distintos tipos de intervención, desde el proyecto de restauración, rehabilitación, reconstrucción, recuperación, renovación, anastilosis, consolidación y preservación. Hay mucho que discutir sobre cada uno de ellos, pero en particular, dicha investigación gira en torno a la conservación continua, en cuanto se refiere a preservación y mantenimiento, con la finalidad impedir el deterioro o degradación de los bienes.

El término de conservación continua aparece en 1997 como propuesta por el Consejo de Europa para dar una recomendación relativa al deterioro físico debido a causas climáticas, contaminantes, humanas y de otros factores similares, así con la conservación

continua podemos asegurar su continua restauración mediante un mantenimiento regular, donde es importante el análisis de riesgos y realizar una gestión para evitar causas por deterioro.

Algunos principios básicos obtenidos de las cartas del *restauro* italianas de 1972 y 1987, enumeran el estudio y análisis del estado actual de la obra de arte acciones fundamentales para conocer la naturaleza físico-química del degrado y poder formular el tratamiento más adecuado para detener el proceso de deterioro. El análisis conlleva una documentación gráfica, investigaciones y análisis de cualquier índole para establecer el estado actual, causas de alteración y problemas de conservación.

La alteración o deterioro significa la pérdida de cualidades físicas, químicas y ópticas originales, entrando en un proceso de inestabilidad promovido por determinados factores. El deterioro de los materiales es una condición natural, significa que algunas partes se modifican en algunos casos favoreciendo el deterioro. Las causas son los motivos principales por los que se produce el daño en el bien cultural y los efectos son todos los síntomas que detecta el conservador en el bien cultural. Para eliminar los síntomas es necesario averiguar su causa (García 2012).

Los conservadores tienen ayuda mediante otras ciencias auxiliares como la física, química, historia, radiología, macrofotografía, rayos ultravioletas, infrarrojos, rayos X, microbiología, etc. que aportan análisis científicos para conocer mejor los factores que contribuyen a la degradación de los materiales, con las que poder adoptar medidas y tratamientos más adecuados para evitar, detener el deterioro o cualquier consecuencia grave. Por ello, se realiza una documentación exhaustiva de los procesos de degradación y tratamiento que experimentan a lo largo de su investigación, para deducir los materiales a utilizar para garantizar su estabilidad físico-química, y que resulten totalmente reversibles o inocuos para el objetivo a alcanzar.

Los factores extrínsecos son los factores que producen el deterioro y se producen por fuentes externas, a grandes rasgos se encuentran:

- los geológicos: los accidentes naturales como seísmos, huracanes, incendios, inundaciones, etc.
- el clima: la humedad, la humedad relativa alta, la humedad relativa baja, la temperatura alta y la temperatura baja, la iluminación y la radiación.
- los químico-ambientales: la contaminación atmosférica, otros elementos nocivos.
- los biológicos: los microorganismos, los insectos nocivos, los hongos y bacterias, los roedores y las aves.
- el hombre: actos intencionados, actos no intencionados.

Las directrices llevadas a cabo por la administración se basan en un marco jurídico y administrativo, mediante la organización y programación de propuestas, investigaciones a largo plazo, recopilación de información sobre la evolución del deterioro, seguimiento continuo, observación de fallos en estructuras y materiales, gestión de riesgos, métodos de conservación,

sensibilización del público, formación de especialistas y cooperación europea mediante asistencia científica y técnica. En este caso, la investigación va a girar en torno al seguimiento y control del bien para establecer los métodos de conservación, por lo que las directrices enumeradas serán las que se lleven a cabo como se verá en el capítulo quinto.

6. EL ÁMBITO DE LA TRANSMISIÓN, DIFUSIÓN Y PUESTA EN VALOR DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

6. EL ÁMBITO DE LA TRANSMISIÓN, DIFUSIÓN Y PUESTA EN VALOR DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Las actuales leyes que protegen nuestro patrimonio manifiestan que la mejor garantía para su conservación y protección es una adecuada difusión (Ravé 1996). Pero, ¿qué en qué consiste la difusión del patrimonio? Para Hernández (2002), consiste en las *estrategias que se utilizan para hacer más comprensible el patrimonio y que este pueda ser conocido por un mayor número de personas*. Martín (2007) añade que la difusión es *una gestión cultural mediadora entre el patrimonio y la sociedad*.

Según estas definiciones, los objetivos de la difusión se pueden ampliar a, facilitar la comprensión, importancia histórica y valorización de los sitios patrimoniales, comunicar a los diferentes públicos el reconocimiento a través de su significación y la importancia de transmitir y salvaguardar los valores tangibles e intangibles en su entorno natural, cultural y contexto social. Según la Carta Internacional sobre el Turismo Cultural⁴⁶ de 1999, el hecho de darlos a conocer al público y que los ciudadanos lo contemplen, crea actitudes de solidaridad y respeto a lo que es cercano, sobre todo en cuestiones de fragilidad, pertenencia y perdurabilidad⁴⁷. Además, este fenómeno fomenta el turismo y colabora no sólo en la protección de los lugares históricos y culturales, sino que promueve el desarrollo económico como ratifica la Declaración de Manila sobre el Turismo Mundial⁴⁸ de 1980, así como la Conferencia de Helsinki⁴⁹ de 1996 y también la Carta de Quito⁵⁰ de 1964. El cumplimiento de estos objetivos conlleva en sí labores de investigación que implican desarrollar directrices y técnicas profesionales para la interpretación y la presentación del patrimonio cultural y que actualmente, incluyen el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación.

Igualmente, la difusión se puede considerar como una “planificación interpretativa” que satisface a tres premisas (Miró 1997). La primera, la relación entre el patrimonio e identidad, en la forma en que el patrimonio actúa como elemento generador de imagen e identidad territorial. La segunda, la relación entre el patrimonio y la economía para garantizar la rentabilidad de las inversiones en el patrimonio y por último, la relación entre el patrimonio y la sociedad, en qué manera va a contribuir el desarrollo patrimonial en mejorar la calidad de vida de la población. Porque la rentabilidad del patrimonio hoy en día ya no es discutible, invertir en la

⁴⁶ Carta Internacional sobre el Turismo Cultural. La Gestión del Turismo en los Sitios con Patrimonio Significativo, 1999. [http://www.international.icomos.org/charters/tourism_sp.pdf].

⁴⁷ Fragilidad: porque el patrimonio puede perderse, pertenencia: el patrimonio es de la sociedad y perdurabilidad: el patrimonio debe legarse a las futuras generaciones.

⁴⁸ Declaración de Manila sobre el Turismo Mundial, 1980. [<http://bidaietiko.files.wordpress.com/2010/12/declaracion-de-manila1.pdf>].

⁴⁹ 4ª Conferencia Europea de Ministros Responsables del Patrimonio Cultural. Helsinki, del 30 al 31 de Mayo de 1996.

⁵⁰ Carta de Quito, 1964. [http://ipce.mcu.es/pdfs/1967_Carta_de_QUITO.pdf].

conservación del patrimonio es un gasto necesario y a su vez rentable desde el punto de vista social, cultural y económico, fundamentales para el desarrollo económico y sostenible de un sitio, monumento, espacio o territorio.

Para reforzar diversas cualidades como la autenticidad, la integridad intelectual, la responsabilidad social, el respeto hacia el significado y el contexto cultural del patrimonio cultural, la Carta de Ename designa la expresión “interpretación” del patrimonio y describe la necesidad de desarrollar *todas las actividades potenciales realizadas para incrementar la concienciación pública y propiciar un mayor conocimiento del sitio de patrimonio cultural*. Asimismo, considera que esas actividades deben incluir publicaciones, conferencias, equipamientos, programas educativos, investigación, programas de formación y métodos de evaluación, retroacción, retroalimentación o *feedback* permanente del proceso de interpretación en sí mismo.

Por consiguiente, uno de los medios para llevar a cabo estas actividades sobre la sociedad es la educación. La pedagogía del patrimonio, conciencia mediante la educación, sensibiliza y forma a la sociedad. En el mundo donde domina la imagen y donde el alumno está acostumbrado a procesar información visual es imprescindible dotar a la formación de un soporte icónico, más cuando es tan abundante, cercano y de tan alta calidad como el que se puede exprimir del Patrimonio Histórico. Para ello es fundamental el desarrollo de programas educativos que despierten la conciencia desde niveles escolares básicos ya que fomentará un interés por la protección y por el significado de éste desde muy pequeños.

Asimismo, la importancia del patrimonio para la ciudadanía queda claramente reflejada en las más de 500 asociaciones relacionadas con la defensa y conservación del patrimonio inscritas en el registro nacional (Tapia 2011). Entre ellas, se encuentran la Asociación de *Hispania Nostra*, cuya finalidad es la defensa, salvaguardia y puesta en valor del patrimonio cultural español. También existen fundaciones encargadas de la restauración para la difusión de las obras de arte recuperadas y del proceso de recuperación, entre las que se encuentra la Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León, con la realización de actividades como las “Edades del Hombre” de dilatada trayectoria en la promoción del patrimonio de los obispados de Castilla y León o las escuelas taller con numerosas obras de rehabilitación de monumentos y edificios, como por ejemplo la Fundación de Santa María de Albarracín.

En otros países, las competencias de los modelos de gestión también son gestionadas por el sector privado. Por ejemplo, en Reino Unido, la *National Trust*, es una organización conservacionista cuya función es proteger y valorar los sitios culturales y naturales, adquiriendo, conservando y abriendo al público los sitios patrimoniales. En Estados Unidos también existe esta iniciativa llamada *National Trust for Historic Preservation*. En Europa, encontramos *Europa Nostra*, es una federación de asociaciones por la defensa del patrimonio arquitectónico y su entorno. En España, se halla la Asociación Española de Gestores de Patrimonio Cultural. Es un entidad independiente y sin ánimo de lucro integrada por un colectivo multidisciplinar de profesionales de la gestión del Patrimonio Cultural que se dedican a promover y apoyar actividades e iniciativas en beneficio del Patrimonio Cultural Español, para su conservación, difusión y disfrute junto con las administraciones.

Más aún, se ha visto en apartados precedentes, que la responsabilidad del gobierno no sólo es una competencia, sino una responsabilidad con la sociedad, y por ello, en este aspecto, el PLAN PAHÍS de la comunidad de Castilla y León por ejemplo, ha formado parte de este discurso, presentando entre sus objetivos, el utilizar el patrimonio cultural como medio de dinamización, desarrollo social y económico de la comunidad, estableciendo las líneas básicas de un plan de difusión respecto del valor de esos espacios patrimoniales y de su capacidad de transformación.

En resumen, facilitar la comprensión del patrimonio no es una tarea sencilla, requiere de los medios y contenidos adecuados para transmitir la información necesaria sobre el patrimonio. Esto lleva aparejados una investigación, estudio y análisis como primer elemento básico a tener en cuenta. En esta primera fase se expresa el conocimiento de sus características físicas, técnicas y formales, valores históricos, artísticos y culturales, como se verá en el siguiente apartado mediante la documentación gráfica y su posterior procesado en productos patrimoniales. Y es aquí donde utilización de las Tecnologías de la Información y Comunicación ejercerá un papel fundamental para ello.

PARTE II: METODOLOGÍA DE
INTERVENCIÓN EN EL PATRIMONIO
ARQUITECTÓNICO DE ÁGREDÁ

7. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. APLICACIÓN AL CASO DE ÁGREDA

7. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. APLICACIÓN AL CASO DE ÁGREDA

Las formas de documentación gráfica del patrimonio cultural hasta ahora podían reducirse en esencia a planos y fotografías. Las razones de la práctica de esta documentación clásica se encuentran en la tecnología y la instrumentación disponible en ese momento. Estos métodos de presentación se basaban esencialmente en dos dimensiones. Y en sí, el soporte impreso en el que aparecían los dibujos, limitaba el acceso al público no familiarizado a las fuentes documentales, restringiéndolo prácticamente al técnico.

Actualmente los arquitectos han sido y siguen siendo educados para reproducir y representar la información tridimensional en dos dimensiones. Esta práctica no está suficientemente valorada, ni debe ser visto como una respuesta banal a la ausencia de soluciones técnicas alternativas. Nos encontramos ante un proceso complejo, donde el primer requisito para esta representación es la adquisición de conocimientos sobre la articulación cultural y el contexto histórico, conociendo al mismo tiempo la variedad metodológica y habilidades técnicas existentes en el mercado para la representación dimensional y tridimensional. Sólo a través de una formación de amplio alcance en el desarrollo y maduración de las facultades críticas del investigador, es posible negociar la transición de 2D a 3D, ya se trate de un objeto, un monumento o un paisaje.

En las últimas dos décadas, ha habido un rápido crecimiento tecnológico y de nuevas oportunidades sobre los marcos de referencia de las herramientas tradicionales, que éstas se habían mantenido prácticamente sin cambios durante mucho tiempo. El arquitecto dispone ahora de nuevos instrumentos, nuevos sistemas de visualización y nuevas herramientas de análisis espacial. La disponibilidad de nuevos instrumentos, revolucionarios en potencial, marca una revolución en el campo del patrimonio. El desarrollo de la técnica permite la formulación de procedimientos innovadores que responden a las necesidades de su campo de aplicación, facilitando la elaboración de nuevos paradigmas, nuevas normas y, por tanto, nuevos métodos que logran avances reales en la comprensión de la documentación del patrimonio. Hoy en día, el uso de sistemas de documentación 3D, la creación de modelos complejos donde se puede navegar y medir, y el manejo de estos datos y su gestión nos presentan nuevos retos en cuestiones tales como la medición, documentación e interpretación.

También han surgido confusiones en el registro de la toma de datos de edificios históricos. Después de la euforia inicial generada por la posibilidad de documentar grandes estructuras en tres dimensiones a través de escáner láser, por ejemplo; ha habido un enfriamiento progresivo debido a la mala comprensión de las funciones de las nubes de puntos, mallas y modelos tridimensionales. Pero un buen registro proporciona la historia del edificio, la identificación de las fases cronológicas, evidencia anomalías, resume la representación final de las formas, colores, estado de conservación y la calidad de los materiales utilizados durante la construcción. Además de facilitar su lectura y comprender sus dimensiones y sus proporciones, fijar numéricamente sus coordenadas, conocer

su posición en el espacio, su relación con su entorno y de guardar una documentación precisa del estado actual del edificio. Estas técnicas favorecen los principios éticos propuestos por ICOMOS en 1966, donde establece que cualquier proyecto de documentación tiene que garantizar la adquisición de una mayor cantidad de información con el menor impacto posible sobre el bien, favoreciendo de esta forma la reversibilidad a la situación anterior (Valle 2007).

La documentación gráfica a menudo representa el medio más apropiado para explicar y comunicar la complejidad de la evidencia arquitectónica, describiendo sus interrelaciones y contextos, pudiendo ser de variada diversidad como croquis realizados a mano alzada, fotografías, planos, hasta nubes de puntos que modelos tridimensionales mallados. La documentación tridimensional hace que sea posible crear un registro objetivo de algunos aspectos tales como el volumen, detalles y texturas de los monumentos a proteger y reproduce una documentación detallada y objetiva de los resultados de un proceso de interpretación.

La documentación tridimensional se presenta como un medio innovador de ejecución y representación de las medidas tomadas de los objetos o contextos. Posibilita la adquisición de una cantidad extraordinaria de datos y de mediciones, la densidad de los cuales está condicionada por la densidad de escaneo (por ejemplo un punto cada tres mm) o la resolución del sensor de la cámara (en ambos casos el criterio final es la distancia desde el objeto). Estos factores deben ser adaptados a las características del objeto que se esté documentando. Sin embargo, el objetivo de estos trabajos, que tradicionalmente se centraba en la toma de medidas, puede en el caso de escáner láser y de la fotogrametría digital, reasignarse a una etapa posterior, lo que reduce la cantidad del tiempo dedicado a este proceso en el campo.

7.1. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO DEL PATRIMONIO

En 1964, la Carta de Venecia indicó la necesidad de realizar levantamientos arquitectónicos objetivos y precisos como uno de los objetivos de la protección del patrimonio y de esta forma el ICOMOS marcó las bases y las medidas necesarias a tener en cuenta en la protección de éste. De ahí que este sea un apartado fundamental para el estudio y la guía sobre la generación del modelo tridimensional, elemento importante de utilización sobre las posteriores aplicaciones en la causa de la protección del patrimonio.

El levantamiento arquitectónico debe ser fundamentalmente un método de análisis cuyo objetivo final sea el conocimiento del edificio tanto morfológico como dimensionalmente. Este conocimiento deberá ser lo más completo y exhaustivo posible si queremos que cualquier intervención sobre él sea eficaz y garantice de la conservación de todos sus valores. Por ello, el

levantamiento en sí puede y debe considerarse como un método de investigación pues sus resultados nos ofrecen siempre un mejor conocimiento de nuestro patrimonio.

El levantamiento arquitectónico tiene como finalidad la representación de un objeto arquitectónico bien mediante sus proyecciones, como se ha hecho hasta ahora o mediante otros procedimientos más actuales para la obtención de un modelo digital informatizado, bien sea simplificado o completo, a través del cual se pueda analizar la obra —proyectual y constructiva— del edificio. Además conlleva una toma de decisiones en cuanto a los instrumentos a utilizar, en los que puede influir la escala apropiada al objeto, la resolución, el grado de detalle o densidad de la información según el fin para el que se requiere. Los resultados dependerán de los recursos disponibles y también se puede establecer que la dificultad de su generación radica en la dificultad del modelo.

De esta forma, podemos determinar que el levantamiento arquitectónico consta de las siguientes fases (fig. 21). Una primera manual y previa de realización de croquis y apuntes sobre terreno de los planos, los cortes y las elevaciones necesarios de la construcción sobre los que se referirán las dimensiones y medidas utilizando una escala apropiada de interpretación del dibujo, así como las indicaciones descriptivas, los comentarios y las observaciones anotadas sobre la obra. El segundo, la planificación y adquisición de datos. Esta captura se desarrolla con una de las siguientes metodologías de levantamiento: la fotografía para la restitución fotográfica o para la fotogrametría terrestre o aérea, el láser escáner y el apoyo de la estación total en las anteriores técnicas para posicionar coordenadas al objeto. El tercer paso, es el procesado de datos, una vez obtenida la nube de puntos, se optimiza mediante una discretización y eliminación de ruido. El post-procesado es la generación de la superficie para la generación del modelo tridimensional, que es el que contiene el registro integral de la información gráfica. Los modelos tridimensionales permiten conocer los valores dimensionales de lo representado, como obtener proyecciones ortogonales, axonometrías y cónicas, que no es lo mismo que la aplicación CAD en dos dimensiones directamente. La dificultad de su generación radica en la dificultad del modelo, aunque lo habitual era que fuera reducible a formas prismáticas o formas geométricas simples de fácil definición, para simplificar la operación. Para la generación de superficies, principalmente se utiliza la triangulación para la creación de la malla, o bien en otras ocasiones, se puede simplificar para obtener superficies NURBS o primitivas, con la aplicación correspondiente de su textura. El último paso, la producción de la planimetría, ortofotografías, infografías, videos o recursos virtuales. Los destinatarios principalmente van a ser profesionales de la investigación patrimonial que van a requerir el uso de modelos tridimensionales para la extracción de planos y ortofotografías para el uso en catalogación, restauración, conservación y difusión.

El coste en tiempo de la documentación radicará en una cuestión de metodología, conocimiento, experiencia y habilidad del operador. La obsesión de obtener una mayor precisión, en la mayoría de los casos, incrementa el coste para no obtener beneficios reales en la documentación. Hay que medir si la información que obtenemos es escasa o por el contrario obtenemos excesivos datos, por lo que muchas veces es imposible poder manejarse o enviar a cualquier persona.



Figura 21. Metodología del levantamiento arquitectónico. Fuente: elaboración propia.

A continuación se van a presentar los pasos previos a la realización del levantamiento como son el análisis del elemento a documentar, el grado de detalle y los estándares de la documentación, siguiendo las distintas técnicas de captura, procesado de datos y para concluir, una comparativa entre estas metodologías.

7.2. ANÁLISIS DEL ELEMENTO A DOCUMENTAR

Previo a la captura de datos del elemento a documentar, se requieren una serie de operaciones básicas. Estas operaciones son el estudio de la morfología y dimensiones del edificio. Es importante establecer una clasificación de bienes inmuebles: si son objetos pequeños, pequeñas, medianas, grandes edificaciones o conjuntos constructivos. No es lo mismo un monumento, que un edificio de una sola nave o de varios cuerpos. Esto nos hará determinar qué tipo de herramienta y medios vamos a utilizar, a qué escala lo vamos a representar y qué grado de detalle queremos alcanzar.

Otra de las cuestiones fundamentales previas es dónde está situado el bien. Es primordial analizar la ubicación, su disposición y relación con el entorno, si se encuentra adosado, exento, con poca visibilidad de fachadas, si tiene vegetación a su alrededor, coches o mobiliario urbano y si hay desniveles con respecto a sus fachadas. Si el elemento a documentar es el exterior de un edificio o es un interior. En qué estado de conservación se encuentra, también es importante. Y por último se existe documentación gráfica previa, el soporte en el que se encuentra, la escala y su disponibilidad, nos pueden ayudar a la realización del levantamiento.

7.3. GRADOS DE DOCUMENTACIÓN

El grado de documentación viene determinado en base a ciertos parámetros de varios tipos, como son el significado cultural del sitio patrimonial, su valoración y la relación entre los recursos disponibles. También hay que tener en cuenta que, coste y precisión van íntimamente ligados, por lo que hay que establecer la precisión adecuada al trabajo a realizar. Lo que implica directamente en las herramientas que se van a utilizar.

La precisión o también llamada, descripción del error, es el grado de acercamiento a su posición exacta, o a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Se llama exactitud a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido. Por otro lado, el error de medición es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Una de las causas del error de medición puede ser la tolerancia. Ésta es el intervalo de valores entre los que debe encontrarse dicha magnitud para que se acepte como válida. Y por último, el error máximo permitido es el valor extremo del error de medida, con respecto a un valor de referencia conocido.

Un levantamiento puede ser puesto en marcha con objetivos distintos y en diferentes momentos, esto dará lugar a representaciones que se diferenciarán en la escala, grado de precisión, contenidos y finalidad. En la guía detallada sobre documentación para la conservación del patrimonio del *Getty Conservation Institute* de Letelier (2007) establece tres niveles de levantamiento: el nivel de reconocimiento, el nivel de registro y el nivel detallado.

El nivel de reconocimiento sirve para realizar labores de inventario o para la constatación de las necesidades de actuación. Este nivel comprende un croquis sin escala, bien proporcionado mediante una estimación directa de medidas y fotografías. Debe contener una descripción general, imágenes y plano de situación, ubicación en contexto para la identificación de las características más significativas. Se trata de un procedimiento primario de investigación que permite evaluar y controlar los bienes en función de su protección.

En el segundo nivel, es el de registro. Abarca una información fotográfica más pormenorizada con unos planos generales a escala alrededor del 1/200 y 1/100, con error máximo permitido de ± 10 cm, y con detalles a otras escalas más reducidas para los que el error máximo permitido será de ± 2 cm. La toma de datos requiere de una toma topográfica o incluso fotogramétrica. Se trata de un nivel de conocimiento básico pero suficiente para una primera valoración. Incluye levantamiento gráfico con dimensiones y complementa el nivel anterior para dar una información más completa.

Y el último nivel, es el de la documentación de detalle. Es un nivel más profundo que el de registro. Incluye un mayor detalle del levantamiento, con la información suficiente para políticas que permitan su protección, conservación, valoración y su integración en la sociedad. Se trata de una investigación más directa para planes y proyectos de intervención. Contiene información fotográfica y descriptiva, planos generales con escala mínima 1/100 con un error máximo permitido de ± 3 cm y 1/20 a 1/1 para detalles cuyo error máximo permitido será ± 25 mm. La toma de datos se realiza con apoyo topográfico, aplicada a la metodología de la fotogrametría o del láser escáner.

La diferencia entre los tres niveles, en concreto, es la precisión de la documentación gráfica desarrollada. Una precisión muy alta constituye un mayor costo, mayor tiempo en su elaboración y la utilización de más herramientas. Por ello es importante considerar los siguientes aspectos a la hora de documentar el bien: seleccionar un nivel adecuado de precisión, usar los recursos disponibles, tiempo de ejecución, organización y presentación de la información.

7.4. PLANIMETRÍAS PREVIAS

Planimetría es plasmación en vistas diédricas (dos dimensiones) de un elemento arquitectónico que se encuentra encuadrado en un plano. Podría venir definido como *la representación gráfica con características métricas de un edificio* según establece Valle Melón (2007). El concepto de planimetría abarca tanto los planos de planta, alzados, secciones y detalles constructivos, en los que en ocasiones se pueden encontrar acotados (Carandini 1997).

En el estudio del patrimonio construido, es importante conocer no sólo la historia del edificio, sino también si ha habido proyectos de conservación anteriores al punto del inicio del levantamiento, ya que éstos pueden ayudar a conocer las características del bien, las transformaciones sufridas y las etapas de construcción. Con ello podemos comprobar si los métodos utilizados han alcanzado el grado de precisión aceptable y por ello vamos a contrastar con los medios actuales en los siguientes apartados.

7.4.1. PLANIMETRÍAS PREVIAS DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL

En apartados posteriores, se va a tomar como caso de estudio para la realización de distintos levantamientos y diversos estudios, la iglesia de San Miguel de Ágreda (Soria) (ver Anexo) y se hace pertinente una breve descripción. Se trata de una iglesia de estilo gótico del siglo XV-XVI de una sola nave y torre románica del siglo XII. Tiene unas proporciones de 50m de largo por 25m de ancho y 24m de altura de la torre. Carlos de la Casa (2011) hace referencia al templo como:

La iglesia de San Miguel, presenta al exterior un voluminoso complejo constructivo con su pórtico, nave, cabecera y capillas adicionales, sobre la que destaca en su lado norte la torre románica, el vestigio más antiguo y perteneciente al templo primitivo, erigido en el último cuarto de siglo XII. La planta de la torre es cuadrada, su esbelto alzado nos muestra cinco cuerpos, los tres primeros corresponden a la traza original; los últimos más irregulares, son posteriores.

En su interior, desaparecida la nave primitiva, nos encontramos con una construcción en estilo gótico dentro de lo que podemos definir como plano ideal de finales de la centuria del siglo XV (fig. 22).

En el intento por localizar proyectos realizados sobre la iglesia de San Miguel, el servicio de Patrimonio Histórico de la Junta de Castilla y León y en la Parroquia de Ágreda, ha proporcionado dos proyectos. El primero, es del año 1966, del arquitecto Juan José Ruiz Vallejo. Este proyecto se encargó de rehabilitar las cubiertas y eliminar anexos posteriores a la fachada que según el autor, desvirtuaban la forma primitiva del templo. Además consideraba oportuno, demoler el atrio de la entrada, datándolo del siglo XIX. Ciertamente tapa la portada gótica de la iglesia, no dejando ver las arquivoltas con decoraciones de hojas de cardo y racimos y hojas de parra hacia el exterior, pero no lo ejecutó (fig. 23).



Figura 22. Interior de la iglesia de San Miguel. Fuente: elaboración propia.

A finales de los años 90, la plaza donde se inserta la iglesia, la llamada "plaza del mercadal", sufrió una mejora, ya que hasta entonces la plaza de toros de las fiestas en honor al patrón de la iglesia de San Miguel se situaba allí. Fue desplazada a otro lugar, por lo que se produjeron obras de acondicionamiento en dicha plaza. Este hecho, produjo que se realizase un acabado en el pavimento con piedra y granito llegando hasta la fachada de la iglesia. Ello ha producido eflorescencias en la fachada por la filtración por capilaridad desde el terreno.

El segundo de los proyectos hallados, es del año 2001 redactado por el arquitecto José Antonio García de León y financiado por la Consejería de Fomento. En este proyecto se reforzaba los paramentos de la torre románica y se acondicionaba el acceso al campanario. Por lo que se puede ver en los planos, la estructura de la iglesia se sigue manteniendo hasta nuestros días (fig. 24 y 25).

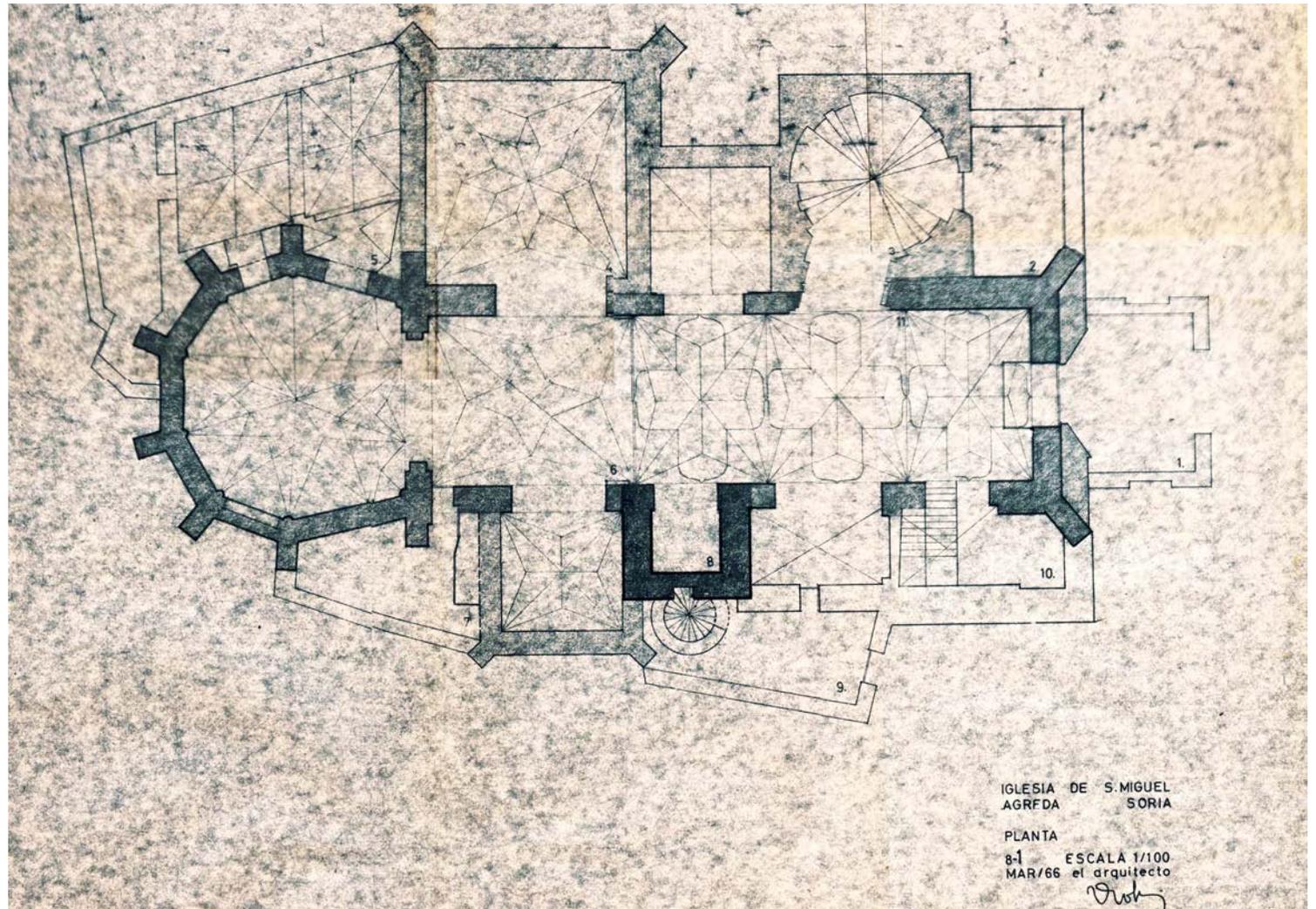


Figura 23. Planta del estado actual del proyecto de rehabilitación de la iglesia de San Miguel del año 1966. Fuente: Ruiz Vallejo (1966).

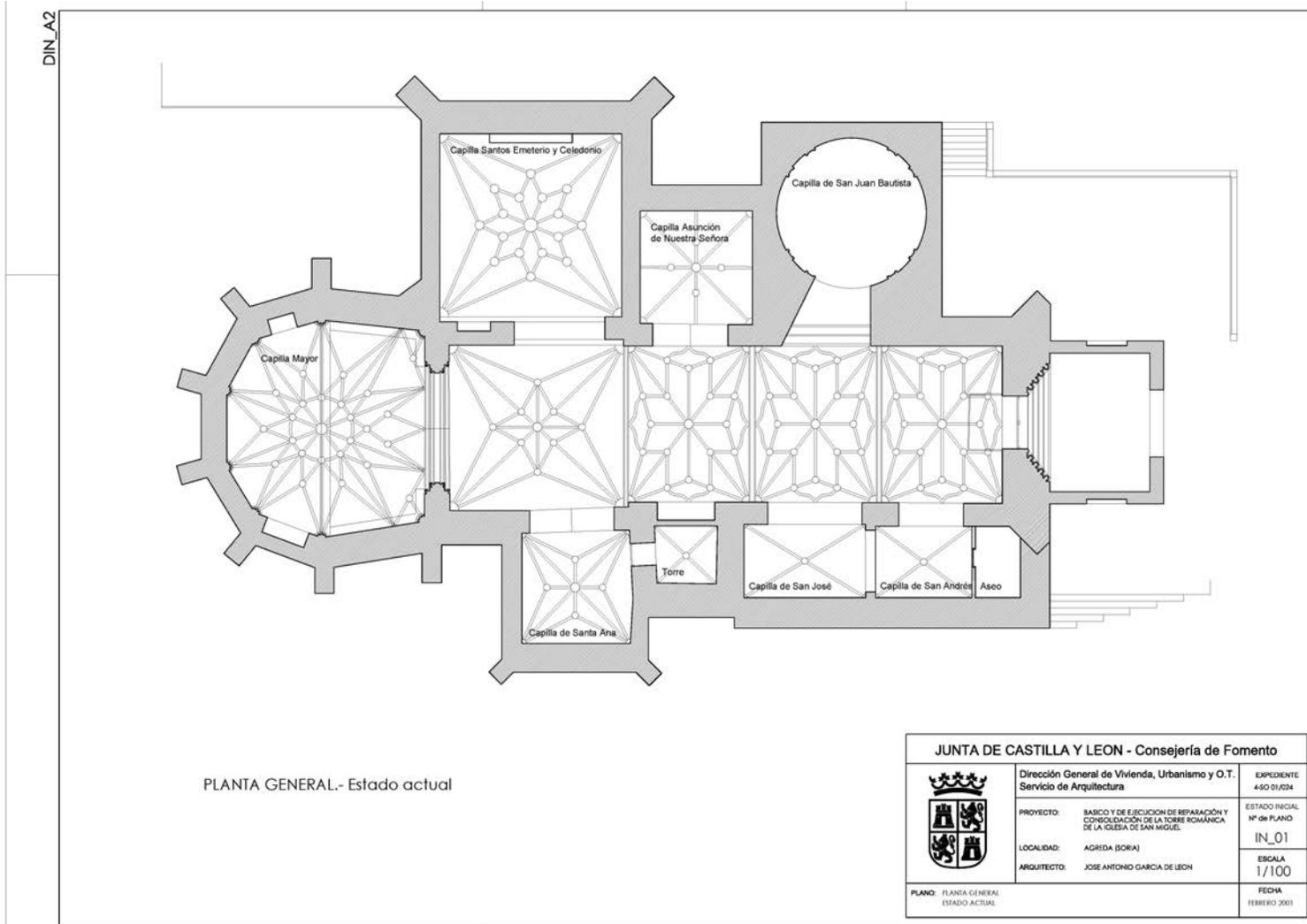


Figura 24. Planta del estado actual del proyecto de consolidación de la torre románica de la iglesia de San Miguel. Fuente: García de León (2001).

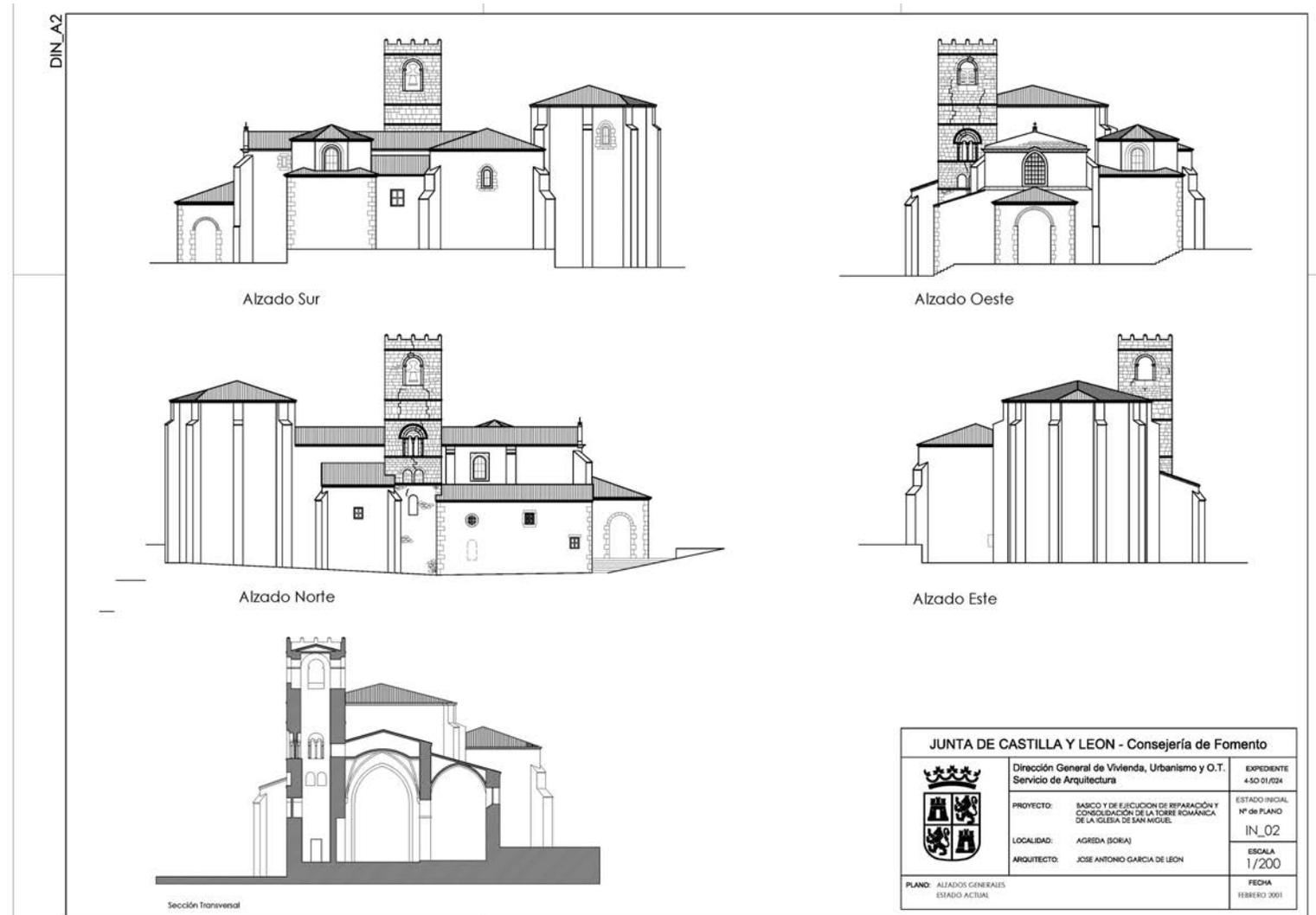


Figura 25. Alzados y sección transversal del proyecto de consolidación de la torre románica. Fuente: García de León (2001).

7.5. MODELOS TRIDIMENSIONALES A PARTIR DE PLANIMETRÍAS

La descripción de objetos tridimensionales, utilizando proyecciones bidimensionales, se remonta a más de dos mil años atrás. El problema contrario de cómo reconstruir automáticamente la estructura geométrica y topológica de un objeto tridimensional a partir de sus proyecciones, empezó a atraer la atención sólo a finales de los 60, motivado por el desarrollo de los ordenadores.

La reconstrucción virtual permite generar un modelo virtual permitiendo una visualización foto-realística y la navegación en un entorno tridimensional. Es una metodología que permite la reconstrucción del patrimonio desaparecido o alterado y puede ser muy intuitivo para la difusión del patrimonio.

Con la aparición de programas de modelado y CAD, se ha podido levantar aquellos que ya estaban dibujados en CAD, pero no aquellos que han quedado almacenados en planos de papel. No sólo se pueden hacer levantamientos de edificios por capturas de datos activos y pasivos, sino que a través de plantas, alzados y secciones en dos dimensiones dibujados a partir de una toma de datos simple, puede dar lugar al modelo tridimensional de un edificio, por ejemplo para un fin de difusión, entre otros.

El modelo digital es un modelo de naturaleza virtual en términos computacionales. Está constituido por un sistema matemático que operacionaliza propiedades de un sistema representado y que actúa como la réplica de la estructura y del comportamiento de las propiedades de un fenómeno real o imaginario (Mandagaran et al. 2002).

Los objetivos en la elaboración de modelos tridimensionales han cubiertos tres aspectos: el morfológico, donde se ha conformado la visualización y el análisis de las formas que lo componen; el constructivo, donde cada entidad ha resuelto a los elementos componente del modelo y por último, el realista que ha buscado complementar la forma con la apariencia al desarrollar los atributos de materialización final que afectan a la percepción del modelo terminado.

En el siguiente ejemplo se va a mostrar la metodología de levantamiento de un edificio patrimonial como es el Torreón de la Muela a través de un programa de modelado que utiliza NURBS⁵¹, como es *Rhinoceros* de *McNeel*. La elección de este programa de modelado viene determinada por la facilidad de utilización, por la flexibilidad en el tipo de superficies ya que utiliza NURBS y porque puede utilizar cualquier motor de renderizado. Existen otros programas con los que se puede modelar objetos tridimensionales precisos, como *Autocad*, cuyas características se van aproximando más a programas como *Rhinoceros* o *3D Studio*, donde se

⁵¹ B-splines racionales no uniformes o NURBS (acrónimo inglés de *non-uniform rational B-spline*) es un modelo matemático muy utilizado en la computación gráfica para generar y representar curvas y superficies. Una curva NURBS se define por su grado, un conjunto de puntos de control ponderados, y un vector de nodos. El grado de la curva es representada matemáticamente por un polinomio de grado uno menos el orden de la curva. Los puntos de control determinan la forma de la curva. El vector de nodos es una secuencia de valores de parámetros que determinan dónde y cómo los puntos de control afectan a la curva NURBS.

empiezan a introducir las mallas y ciertas operaciones antes imposibles, pero no utilizan su propio motor de renderizado. Otro como *SketchUp* de *Trimble*, muy sencillo de manejar, es el que utilizaba *Google* para modelar ciudades enteras en *Google Earth*, cuyo mecanismo consistía en la realización de prismas de mayor o menor complejidad, a los que les aplica la imagen de la fachada y cubiertas rectificadas. Y por último, están los que se definen BIM (*Building Information Modeling*) que utilizan un *software* dinámico para el modelado de edificios en tres dimensiones que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes. Se utiliza para ilustrar el proceso completo de edificación, de mantenimiento e incluso de demolición, donde las cantidades de materiales y propiedades compartidas pueden ser extraídas fácilmente. Por lo general se suele utilizar para edificios de nueva construcción porque ayuda a generar fácilmente las planimetrías y diversos cálculos.

En principio nuestro cometido va a ser el de la representación fiel de la realidad y que este modelo tridimensional ayude a detectar los cambios sufridos a lo largo del tiempo mediante la superposición de modelos en distintas épocas. Ello nos va a facilitar utilizar programas que interactúen con mallas y geometrías para poder observar estas características.

El procedimiento de trabajo seguido a continuación es la presentación del objeto de estudio, el Torreón de la Muela (ver Anexo) a partir de su proyecto de rehabilitación y la descripción del modelado del edificio a partir de una planimetría bidimensional.

7.5.1. MODELADO DEL TORREÓN DE LA MUELA

En apartados posteriores se va a estudiar la forma de conseguir un modelo tridimensional mediante fotogrametría y láser escáner. Esta vez, el levantamiento se va a realizar a partir de la toma de las coordenadas de puntos específicos con una estación total y la croquización in-situ de la morfología del edificio. El posterior delineado dará como resultado plantas, alzados y secciones bidimensionales en formato CAD. De esta forma, el modelado tridimensional se realiza a partir de los datos bidimensionales y para caracterizar el edificio, se ha incorporado textura, mediante fotografías rectificadas, en las que se ha eliminado la distorsión y la perspectiva.

El caso que nos ocupa, el proyecto de rehabilitación del Torreón de Ágrede, se ha elaborado un modelo tridimensional con el programa de modelado *Rhinoceros*. Es un *software* comercial que permite la incorporación de nubes de puntos del láser escáner, de la malla texturada creada mediante fotogrametría o el modelado de cualquier superficie inclusive NURBS. Tiene la opción de incluir plugins como un motor de renderización. Entre ellos V-ray es adecuado para generar imágenes foto-realistas. El modelo de datos 3D presenta diferente definición dependiendo de la escala de actuación y del nivel de precisión de acuerdo al nivel de actuación en el edificio o al requerimiento del levantamiento arquitectónico. La definición del proyecto a escala 1/30 y 1/10, ha

permitido realizar el modelo con bastante nivel de detalle, sobre todo en carpinterías, barandillas y encuentros. El proceso llevado a cabo fue la introducción de todas las plantas en planos horizontales y alzados en planos verticales según su orientación (fig. 26).



Figura 26. Plano de presentación que recoge plantas, alzados, secciones y fotografías. Fuente: Serrano (2011).

Se crearon tantas capas como elementos constructivos tenía el edificio y se aplicaron las texturas correspondientes a la definición de proyecto. Incluso en los muros existentes se colocaron las fotografías rectificadas de cada alzado (fig. 27, 28 y 29). Este modelo permite la generación automática de plantas, alzados, secciones y perspectivas que enriquecen la capacidad de su análisis.

Cabe destacar que toda intervención en el patrimonio se basa en una interpretación desde una posición determinada, la cual debe poder ser revisable y reformulada con objeto de evitar pérdidas de información (Angulo 2012). Por lo que el hecho de tener grabado este proceso, puede ayudar a esta revisión.

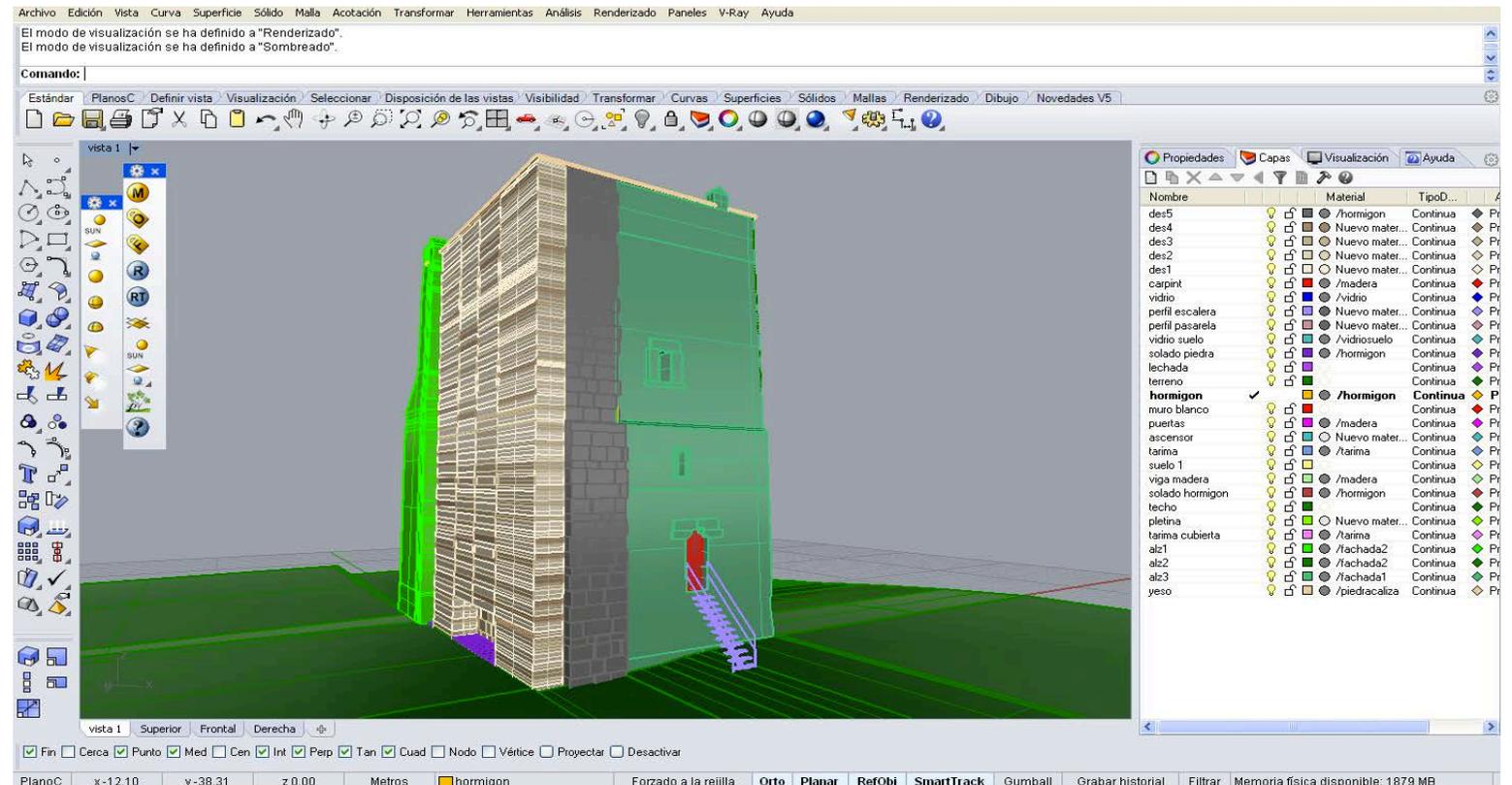


Figura 27. Modelo tridimensional del Torreón en la interfaz de *Rhinoceros*. Fuente: elaboración propia.

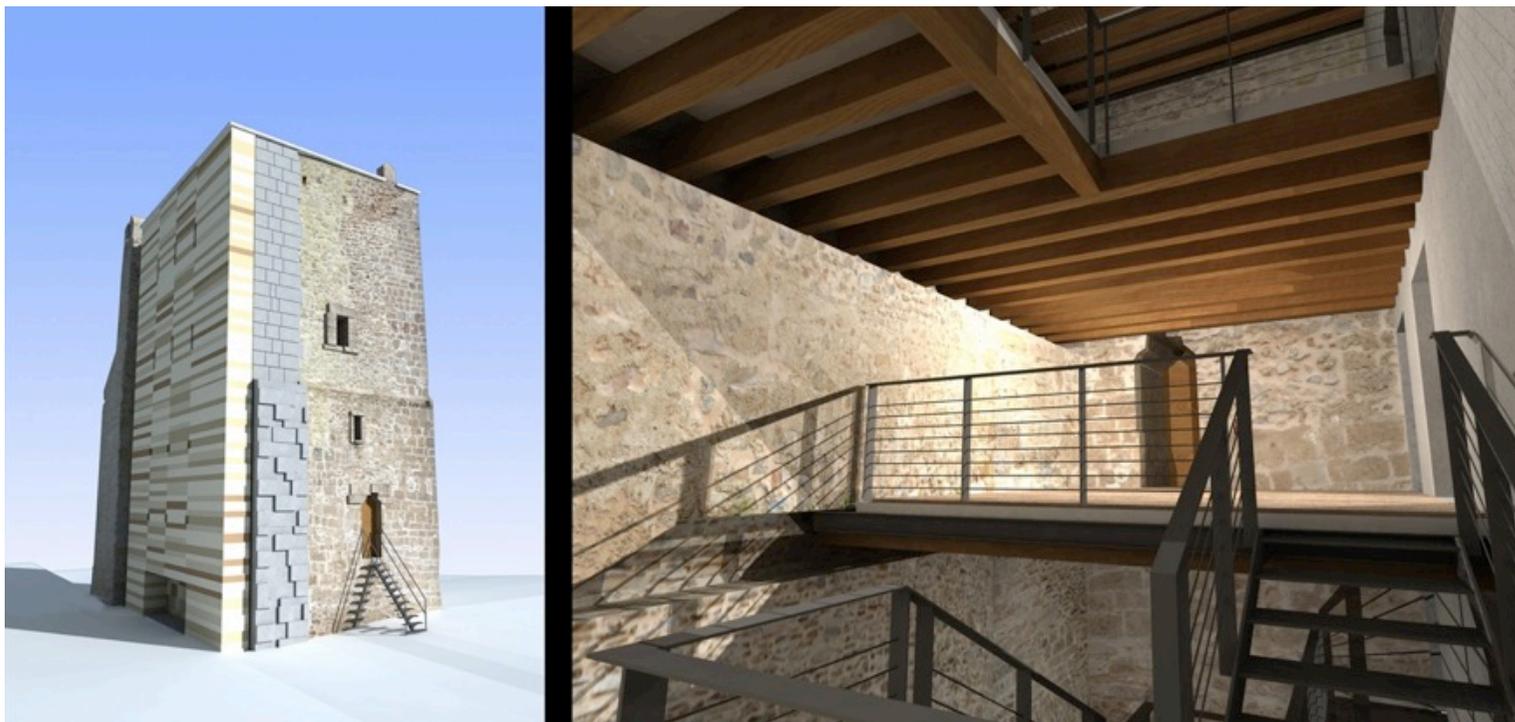


Figura 28. Imagen exterior e interior del modelo tridimensional texturizado con V-ray. Fuente: elaboración propia.

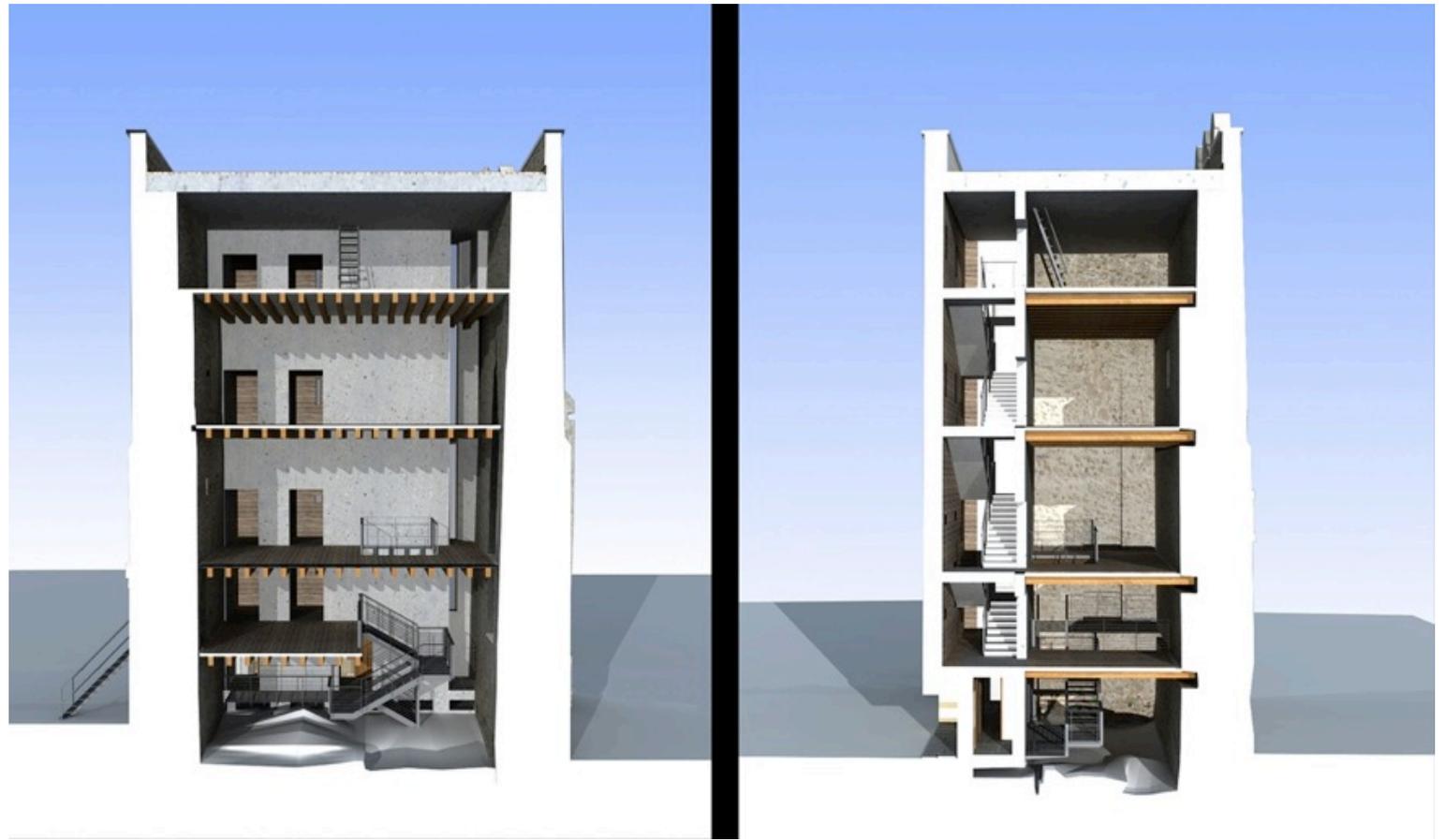


Figura 29. Secciones en perspectiva del modelo tridimensional. Fuente: elaboración propia.

7.6. ESTÁNDARES DE DOCUMENTACIÓN

Antes de proceder a explicar las distintas metodologías de captura de datos. Se ha considerado importante, mostrar de forma puntual qué datos específicos comprenden los registros de una documentación gráfica. En algún momento se puede considerar como única información de un bien que ha desaparecido, el registro de esta documentación. Por ello, una pequeña táctica de estándares de archivo se puede considerar como un punto importante para asegurar la perdurabilidad de la información sobre ese bien patrimonial en la historia de la humanidad. De esta forma, Valle Melón (2007) expone una serie de datos estándares que irán asociados al proceso de registro y documentación del patrimonio.

1. Fotografías:

- datos sobre la toma: fecha, modelo cámara, condiciones de los parámetros de la toma, resolución
- calibración de la cámara
- formato del negativo si es fotografía analógica
- imagen original digital
- imagen escaneada: datos del escaneo
- descripción de los puntos de apoyo, mediciones
- croquis de la toma para la identificación del modelo
- uso fotogrametría: calibración de la cámara, características de las fotografías, numero, solapes, relación base/alejamiento, colección fotografías por espacios de trabajo y croquis de la ubicación.

2. Datos topográficos:

- calibración del aparato topográfico con número de serie
- sistemas de coordenadas utilizados y precisión
- cálculo de la red
- tipo de señalización permanente o temporal

3. Datos láser escáner

- calibración del escáner
- características técnicas del aparato
- archivo de la nube de puntos

- características de la nube: densidad
- croquis de la situación del escáner
- croquis de los puntos de control y coordenadas
- archivos del montaje
- colección de fotografías de apoyo

4. Modelos tridimensionales

- Nomenclatura y listado de capas, código de colores
- Tipos de elementos: puntos, superficies, mallas

5. Preservación de archivos

- ASCII: *stanford triangle format* (.ply) o el *wavefront file* (.obj): describen la nube de puntos en filas y columnas X Y Z R G B.
- XML: X3D o COLLADA (.dae) basados en estándares abiertos y codificados en XML.
- LAS: *Dataset LAS*: contienen gran información sobre datos Lidar como *clase* de entidad multipunto, cuyo análisis se puede realizar desde *ArcGIS*.

7.7. TECNICAS DE CAPTURA DE DATOS

El último de los apartados está dedicado a la captura de datos para la representación gráfica del patrimonio que se introducía en el capítulo anterior. Los sistemas de medición se pueden agrupar según la complejidad de los instrumentos utilizados. Estas técnicas actuales son la fotografía, y las de digitalización tridimensional activa como el láser escáner y la pasiva, la fotogrametría. Éstas son capaces de proporcionar un soporte en tres dimensiones de un bien cultural de difícil estudio y comprensión, ya sea porque es de difícil acceso, inestable o simplemente porque necesita ser restaurado o difundido. Cada una de ellas, proporciona:

Fotografía → representaciones visuales, restitución fotográfica y desde la visión estereoscópica → fotogrametría

Digitalización 3D (fotogrametría y láser escáner) → modelo vectorial tridimensional → nubes de puntos, mallas y texturas → representaciones 2d y 3d (plantas, alzados, secciones, ortofotografías y vistas)

Se van a exponer cada una de estas metodologías aplicadas a un ejemplo concreto de levantamiento arquitectónico.

7.7.1. RECTIFICACIÓN FOTOGRÁFICA

La rectificación fotográfica a partir de una fotografía consiste en el levantamiento gráfico de elementos por lo general planos, como fachadas, donde se corrige la perspectiva fotográfica y se crea una ortofotografía, es decir, como si el plano de la fotografía fuera paralelo al elemento de interés. Esta ortofotografía contiene una importante información métrica que puede ser extraída, sobre todo en los casos que es difícil acceder con una cinta métrica, como por ejemplo elementos que se encuentran a alturas mayores de dos metros. Además puede servir de base para obtener dibujos vectoriales mediante programas CAD.

Los principios básicos de la fotografía se pueden asemejar a los de la perspectiva cónica, ya que sus fundamentos geométricos son los mismos. La restitución de la perspectiva tiene por objeto la reconstrucción de una figura por medio de construcciones gráficas a partir de una perspectiva. Al considerar la fotografía como una perspectiva cónica, se denomina restitución o rectificación fotográfica a la reconstrucción a partir de un solo fotograma (Maestre e Irles 2000).

Para realizar la restitución es necesario conocer los parámetros fotográficos y los del elemento (Nuñez et al. 2012). Para ello se utiliza una transformación llamada relación de proyectividad, donde se relacionan las coordenadas bidimensionales de los dos planos, el de la imagen y el del modelo de la siguiente forma:

$$X = \frac{ax+by+c}{ux+vy+1}$$

$$Y = \frac{dx+ey+f}{ux+vy+1}$$

aquí la X e Y son coordenadas del plano del objeto, x e y son las coordenadas del plano de la imagen y **a, b, c, d, e, f, u** y **v** se calculan mediante un ajuste mínimo cuadrático conociendo la relación entre 4 puntos o más.

Actualmente este proceso se realiza por medio de un programa informático. El tratamiento digital de las imágenes rectifica imágenes incluso con fuertes ángulos de inclinación. En nuestro caso vamos a usar la aplicación *On-site Photo*. Es sencilla de aprender y fácil de manejar. Mediante algoritmos de fotogrametría avanzados, este programa corrige las deformaciones fotográficas de un elemento plano como una fachada, aunque sea oblicua; rectifica las imágenes, identifica las líneas de fuga y calibra a escala las fotos tomadas en posición no ortogonal. Resuelve los problemas de homografías planas con gran precisión, estableciendo para

ello cuatro pares de puntos correspondientes entre una figura y otra. La homografía es la transformación proyectiva que determina una correspondencia entre dos figuras geométricas planas. La corrección de las distorsiones del objetivo fotográfico y la identificación de las líneas de fuga en la foto se representan con una malla de líneas auxiliares, que permite encontrar la perspectiva justa de forma interactiva. El programa incluye un método de calibración de la distorsión de la cámara y su corrección simultánea. Existen otros programas, como el llamado *ASRix 2.0 beta* de Nickerson, que realiza el mismo procedimiento.

Se va a realizar la restitución fotográfica del Ayuntamiento y la Basílica de los Milagros de Ágreda (ver Anexo). El Ayuntamiento es un edificio asilado, de planta cuadrada y situado en la Plaza Mayor del municipio. Se construyó en 1548 cuando se cubrió el del río Queiles y es de estilo renacentista.

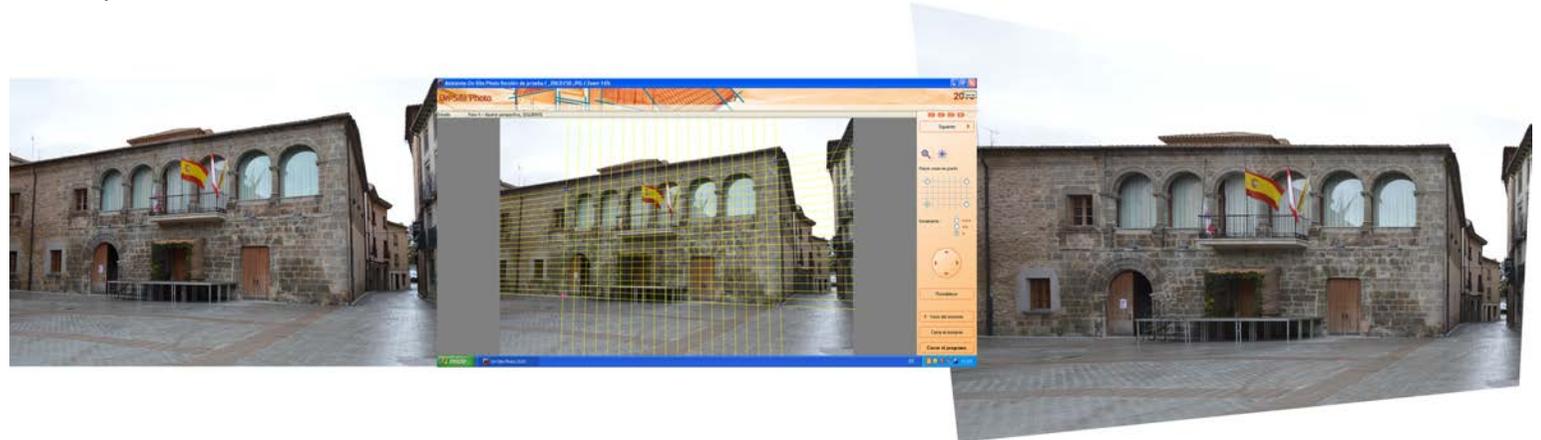


Figura 30. Rectificación fotográfica de la fachada del Ayuntamiento de Ágreda. El primer paso, la toma fotográfica. Siguiendo paso, introducción en *On-site Photo*, generación de la retícula y asignación de coordenadas y por último, la imagen rectificada. Fuente: elaboración propia.

El procedimiento utilizado ha sido el siguiente. En primer lugar se han realizado la toma fotográfica y la toma de medidas. El ancho de la fachada es de 21,65m y el alto de 11,72m. La perspectiva que se ha generado en la fotografía es oblicua con dos puntos de fuga. Sólo nos interesa la fachada principal. En el programa, sobre la fachada se crean unas líneas auxiliares horizontales y verticales sobre la fotografía a restituir. Después se marcan sobre esta los puntos de referencia que hemos tomado medidas, es decir, los homólogos en la figura auxiliar. El software de forma automática, realiza el cálculo correspondiente y el resultado es la figura homográfica que constituye el alzado a escala de la fachada, es decir, la imagen rectificada en la cual se puede medir (fig. 30).

El otro ejemplo, es el de la Basílica de la Virgen de los Milagros. El punto de fuga de esta fotografía está en el eje Z. Las medidas tomadas sobre la fachada son, el ancho de 15,95m y de alto, 25,30m (fig. 31).



Figura 31. Rectificación fotográfica de la Basílica Virgen de los Milagros de Ágreda. Fuente: elaboración propia.

7.7.2. FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE Y AÉREA

Cada vez son más los estudios de arquitectura y arqueología que se suman a la realización de levantamientos y documentaciones geométricas arquitectónicas y arqueológicas mediante la fotogrametría. La fotogrametría no es una técnica de

reciente creación, como se ha visto anteriormente, ha evolucionado según han ido avanzando las tecnologías de la información y el desarrollo de la fotografía.

En el campo de la documentación geométrica del patrimonio se puede hablar de dos tecnologías de aplicación, una, la fotogrametría y otra, el láser scanner. Son dos técnicas que van de la mano, y cada una se usa en determinados casos y a su vez pueden ser complementarias una de otra. Asimismo, nos dan la posibilidad de adquirir una extraordinaria cantidad de datos y dimensiones, cuya densidad viene condicionada por la densidad del escáner o por la resolución del sensor de la cámara, que en realidad, dependen de la distancia a la que estén tomados los objetos. La aplicación 3D puede ser usada tanto en pequeños elementos, objetos y hallazgos, como para el contexto de una excavación o edificación, o más extensivamente, para el paisaje y territorio.

Como se ha indicado en el apartado anterior, se trata de una técnica que determina las propiedades geométricas de los objetos y sus situaciones espaciales a partir de fotografías, tomando estas fotografías con una serie de reglas sencillas para asegurar una alta calidad profesional. Además permite registrar con rapidez y objetividad datos reales del edificio.

Con la aparición de la fotogrametría digital, el resultado de esta técnica es un modelo digital, ya sea un objeto, edificio o espacio que pueda ser fotografiado desde distintas posiciones, permitiendo así su representación en cualquiera de los sistemas posibles ya que mediante algoritmos resuelven las condiciones de colinealidad que produce la toma fotográfica. Las nuevas técnicas de correlación de imágenes permiten la identificación de puntos homólogos radiométricos de forma automática. Esta técnica se denomina *Structure from Motion* (SfM) y procede del mundo de la visión artificial. El principio del SfM es similar al de la fotogrametría estereoscópica, permite realizar modelos tridimensionales a partir de colecciones de imágenes no estructuradas, pero para ello necesita cierto solape entre imágenes. Este solape es necesario para identificar los “puntos homólogos” o “puntos clave”, imagen a imagen. Parte de una estimación inicial sobre las posiciones de la cámara, y las coordenadas del objeto se van refinando iterativamente utilizando ecuaciones no lineales resueltas por mínimos cuadrados. Para ello, es necesario que los objetos tengan una amplia gama de características, es decir, dispongan de una rica textura (Westoby et al. 2012). En este caso no es necesaria la utilización de cámaras calibradas e incluso se pueden mezclar fotos de distintas cámaras ya que los programas que utilizan esta técnica son bastante robustos.

Siguiendo este sistema se ha realizado el levantamiento fotogramétrico de varios objetos, estableciendo unos criterios para la toma fotográfica, la inclusión del entorno y la corrección de errores. El fin de la investigación es conseguir un modelo tridimensional métrico fidedigno para su posterior utilización en otras secciones, y por consiguiente la generación automática de ortofotografías de los alzados a escala, con sus texturas reales, de plantas y secciones, que permita estudiar el estado actual del edificio para su conservación, difusión y catalogación.

Actualmente la fotogrametría se usa no sólo en arquitectura, sino también en arqueología, para usos agrícolas, industriales como puede ser el *piping* (control de conductos) o la recreación de objetos para ingeniería inversa. De esta forma, en arquitectura especialmente, la fotogrametría terrestre se combina con la fotogrametría aérea para obtener mejores resultados. Con la aérea se puede acceder a zonas ocultas o inaccesibles que a pie son imposibles, brindando la posibilidad de generar un modelo tridimensional completo.

7.7.2.1. LA FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE: EL ARCO CALIFAL

La fotogrametría ofrece un abanico muy amplio en el campo del levantamiento arquitectónico del patrimonio, ya que se pueden disponer de sistemas con un pequeño costo, como son, una cámara fotográfica y el *software* aplicado. A parte de ser de bajo costo, también es sinónimo de rapidez y eficacia, simplemente con tener unas nociones de fotografía y una formación en el manejo del *software* se consiguen excelentes resultados, equitativos a los que se pueden conseguir con el láser escáner. El levantamiento a través de la fotogrametría, bien sea terrestre o aéreo, consta de dos fases, la toma fotográfica y la restitución fotogramétrica.

7.7.2.1.1. LA TOMA FOTOGRÁFICA

La toma de fotografías en fotogrametría terrestre, a día de hoy, se realiza mediante una cámara digital, aconsejando el uso de trípode. La fotogrametría ha evolucionado en estos últimos diez años vertiginosamente. No hace tanto, la toma fotográfica se realizaba con una cámara métrica. Actualmente se realiza con cualquier cámara digital, desde una cámara de aficionado, una cámara de un móvil hasta una cámara profesional. El hecho de que se usase una cámara métrica, era para reducir en lo posible los errores por aberraciones propias de la óptica.

En la fotogrametría se tienen que dar una serie de condiciones. En primer lugar, que el objeto cuente con una rica textura, seguido de unas condiciones de iluminación, y por último, de posición de la cámara y de características la propia cámara que hay que dominar. Además, la técnica del SfM, necesita que las características que van a ser identificadas en cada imagen sean invariantes, como la escala de la imagen, la rotación, los cambios de iluminación y el punto de vista de una toma a otra, por tanto, se van a especificar las reglas básicas a tener en cuenta a la hora de realizar la toma (Lowe 2004). A estos parámetros invariantes se les denomina *Scale Invariant Feature Transformation* (SIFT) y este sistema es el que va a utilizar para reconocer o detectar puntos clave (homólogos) entre las múltiples imágenes (Snavely 2008).

Previamente a la toma, es aconsejable realizar una planificación de la toma de datos. Se recomienda la elaboración de croquis apropiados de planta y alzados a una escala entre 1/100 y 1/200, indicando el norte. De esta forma, ayuda a examinar la volumetría del edificio, entorno, puntos de difícil acceso y ayuda conocer la situación de cada cámara respecto del resto de cámaras y del objeto.

Una vez decidida la planificación, se puede marcar en el suelo el primer estacionamiento y medir la distancia hacia el objeto a restituir. El rango de distancias en que los objetos aparecen nítidos se denomina profundidad de campo. Se tiene que cumplir la relación "b/h" donde "b" es la distancia entre los pares (horizontales o verticales) y "h" la altura del objeto (Cueli 2011). Por lo tanto, la distancia del objeto, se multiplica por 0,1 o 0,15 para saber a qué distancia hay que poner el siguiente estacionamiento para hacer los pares frontales. Si por ejemplo, se toma una medida de 10 metros hasta el objeto (se puede hacer una equivalencia en zancadas, 10 metros equivalen a 14 zancadas ya que cada una está alrededor de los 0,75 metros aproximadamente), la colocación del siguiente estacionamiento desde la primera fotografía será a 1,5 metros, es decir, 1,5 o 2 pasos de distancia (fig. 32). Es importante la planificación también de los pares, para hacer solape entre una fotografía y la siguiente. Al usar la visión estereoscópica, cada fotografía tiene que abarcar al menos el 60% de la anterior.

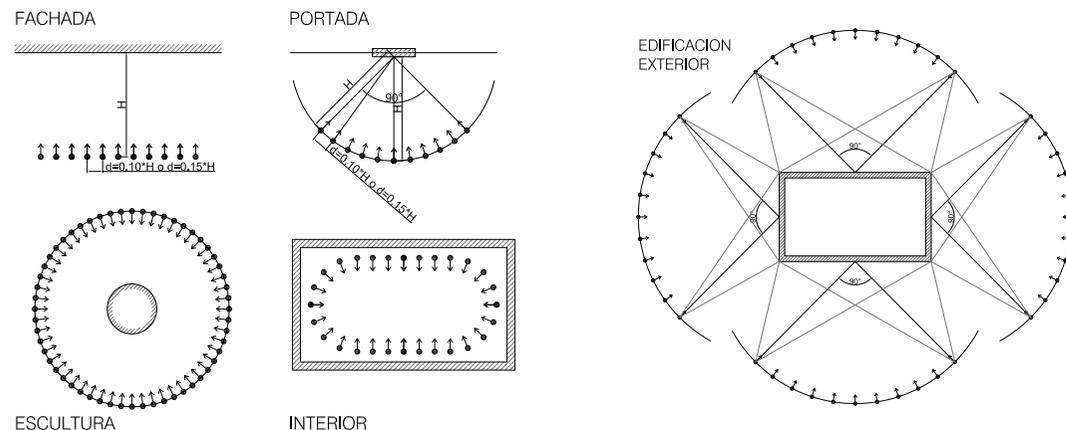


Figura 32. Posición de la cámara para la toma fotográfica según la forma del objeto. Fuente: elaboración propia.

El caso de estudio de aplicación propuesto es el arco Califal de la Villa de Ágreda. Se va a realizar el levantamiento fotogramétrico para la obtención del modelo tridimensional y su posterior impresión con una impresora 3D. El arco Califal es una de las dos puertas islámicas con las que cuenta la villa (fig. 33). Está declarada Bien de Interés Cultural desde el año 1931. Tiene una forma

cúbica casi exenta y su ancho es de 2,52 metros. Consta de un arco de herradura hacia un lado y bóveda de cañón hacia el otro, siendo su paso de 1,14 metros de luz. A continuación de la puerta se encuentra el lienzo de la muralla. Se puede leer más información en el Anexo.



Figura 33. Puerta califal y lienzo de la muralla. Fuente: elaboración propia.

En este caso en concreto, se decidió tomar la puerta como si fuera una escultura. Se fotografió a una distancia de 10 pasos en la medida de lo posible, mirando siempre hacia el objeto y abarcando en cada fotografía todo el arco. La separación entre pares frontales fue de 1 paso, tomados a la misma distancia para que tuvieran la misma escala. Las fotografías de la parte superior se tomaron desde el balcón de la vivienda anexa. En su mayoría, las fotografías han sido tomadas desde una altura igual a la mitad de la altura del arco. Asimismo, también es conveniente capturar la escena desde múltiples puntos de vista. Es mejor tener un exceso de fotos, que no insuficiente información. Como también es aconsejable incluir diagonales para que cubran dos caras del objeto y tomas oblicuas para incluir fotografías adyacentes, e incluir el entorno para que haga contraste con el objeto. Incluso se pueden incluir pares más cercanos para detalles. La condición indispensable que se tiene que dar entre una toma y la siguiente, es que por lo menos haya un solape del 60%, a mayores, mejorará la calidad de la nube de puntos.

En fotogrametría no todas las imágenes pueden ser válidas, ello dependerá de la calidad de la imagen, de la iluminación, el enfoque, la estabilidad, etc. Pero cuanto mejor sea la calidad de la fotografía, mejor resultado se obtendrá y por tanto influirá la calidad de la cámara fotográfica usada. Sobre las condiciones de iluminación, la iluminación más uniforme se encuentra en las primeras y últimas horas del día, donde las sombras están más atenuadas y hay menos matices que perjudiquen las texturas. Como también es aconsejable utilizar días nublados para conseguir esa iluminación uniforme sin sombras.

La viabilidad de la fotogrametría como se ha visto anteriormente, se hace posible por la rica heterogeneidad de las texturas en los objetos, en nuestro caso la piedra del mampuesto que compone el arco va a favorecer el uso de la técnica. Se aconseja evitar superficies reflectantes como vidrios, ya que es un tipo de textura que el software no reconoce, no es capaz de orientarla y puede generar efectos indeseados.

Las características con las que se tomó cada fotografía del arco Califal fueron las siguientes. Se utilizó una cámara digital Profesional "Nikon D3200" con un objetivo de 18-105mm. La cámara cuenta con una resolución de 24,2 megapíxeles, pero se eligió un tamaño medio para las imágenes de alrededor de 5Mpíx, con una calidad de la imagen en JPEG normal, balance de blancos en automático y parámetros de brillo, contraste, color, saturación, etc. a nivel cero, para no dejar al *software* de la cámara que modificase datos. La resolución de la imagen escogida fue de 4512x3000 píxeles. Se debe tener en cuenta que no se va a aprovechar toda la superficie ya que existe una distorsión sobre los límites de la imagen ocupando un 10% en cada lado, por lo que finalmente aprovecha el 80%. Con estas dimensiones de imagen, se puede decir que para emplear una resolución de 1cm por píxel, se podría cubrir un edificio que tuviera unas dimensiones de 35x22m. El número de puntos obtenido por la orientación de las imágenes depende principalmente de la textura y de la resolución de la imagen, a mayor resolución, mayores resultados se obtendrán, pero también se incrementarán los tiempos de procesado de las imágenes. Por eso, se ha decidido escoger una resolución media, para que haya un equilibrio en ambos procesos. La densidad, la nitidez, la resolución y la gama de texturas aportará calidad a la nube de puntos de salida (Westoby et al. 2012).

Por lo general, en arquitectura se usa una longitud focal de 18mm para abarcar más campo de visión y dar una precisión suficiente (para objetos pequeños se usa una longitud focal mayor). La abertura del diafragma se situó en F/11 y no más de F/16. El diafragma controla la entrada de luz, así cuanto más pequeña es la abertura, más rectos son los rayos luminosos y mayor la profundidad de campo (fig. 34). Se escogió una sensibilidad ISO 100. Con este ISO bajo se obtienen detalles finos, pero se necesita buena iluminación en la escena. EL programa de exposición fue de forma Manual, con el enfoque automático hacia el centro de lo que se quería restituir en la primera foto y cambiar a modo manual para tener el mismo enfoque el resto de las tomas, ya que no es adecuado usar el enfoque al infinito. Se aconseja usar el disparador con cable aunque en este caso no se ha utilizado (Agustín, Fernández y Peinado 2013) (fig. 35).

Es necesario que cada punto característico del objeto aparezca en un mínimo de tres fotografías, sin embargo, la captura de más imágenes donde aparezca el mismo punto es recomendable porque optimiza el número máximo de puntos orientados y la redundancia del sistema (Westoby et al. 2012).

Los parámetros variables a tener en cuenta han sido, uno de ellos, la velocidad de disparo en función del histograma del visor. Es la indicación al obturador de cuánto tiempo va a dejar pasar la señal luminosa a través del diafragma hasta el sensor. La velocidad se corrige con la rueda hasta que en la gráfica del histograma se sitúa hacia la derecha, pero sin llegar a ella. El histograma es una interpretación de una imagen JPEG, por ello es conveniente seleccionar salidas JPEG y no RAW. La zona derecha es la más luminosa, el registro tonal es más amplio y donde se obtienen mejores texturas. Los tiempos altos, se ajustan abriendo el diafragma a valores de F/8, F/5.6. Se aconseja la utilización de trípode en la toma fotográfica para la nivelación de la cámara porque ayuda en la escasez de iluminación a utilizar velocidades más bajas. Para el uso de una cámara compacta, es conveniente, si tiene la posibilidad de utilizar los modos, "M" manual, "A" prioridad a la abertura y "S" prioridad a la velocidad.



Figura 34. Abertura del diafragma. Fuente: Cueli (2011).

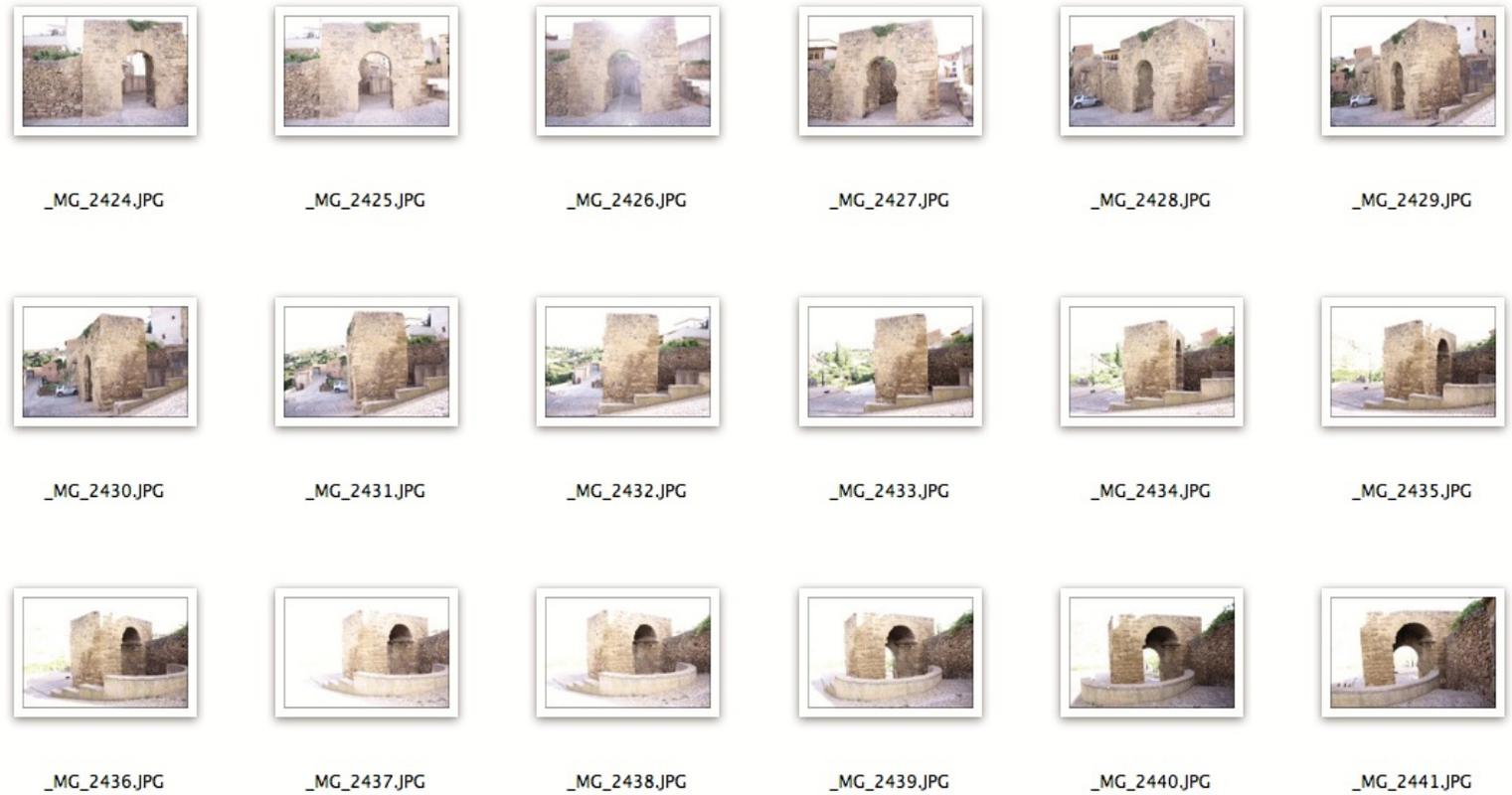


Figura 35. Toma fotográfica del arco califal. Fuente: elaboración propia.

Los datos anteriormente expuestos, no deberían variar a lo largo de la toma fotográfica. Si ocurre que las nubes se abren o cierran el cielo en cuestión de minutos, habría que asegurar una igualdad entre los pares, es decir, conseguir un color uniforme en las imágenes de las que se va a extraer textura para evitar una posterior corrección radiométrica, además de que empeoran las condiciones de orientación de las imágenes.

En la figura 36, se muestra una tabla de profundidades de campo, para las condiciones anteriormente descritas, la tabla indica a partir de qué distancia empiezan a estar los objetos enfocados. En nuestro caso es a partir de 1,25 metros.

Las fotografías digitales tiene un código EXIF (*Exchangeable image file format*) y dan la información de la distancia focal, el tamaño CCD, las coordenadas del punto principal y las posiciones desde donde fueron tomadas las fotos, en forma de sus tres coordenadas X, Y, Z y los tres ángulos de giro de la cámara respecto al sistema de referencia para cada posición $\alpha \ \theta \ \kappa$ ($\Omega \ \Phi \ \kappa$ en la fotogrametría aérea).

Antiguamente, el uso de una cámara métrica venía establecido por sus características métricas. Estas son la posición del punto principal (centro de proyección), la distancia focal calibrada, la distorsión radial y tangencial, la posición de las marcas fiduciales (permiten medir errores de deformación), la planeidad del plano focal y el poder separador de las lentes. Estas características hacían inevitable una calibración previa de la cámara, para corregir las aberraciones generadas por el objetivo. Actualmente, con las cámaras digitales, se realiza automáticamente la calibración en el *software* del ordenador, a excepción de los programas que utilizan *Structure from Motion*, también conocido como emparejamiento automático denso, donde la cámara no necesita una calibración previa.

De todas formas, la calibración de la cámara sirve para determinar de manera precisa los valores constantes de la cámara. Consiste en fotografiar una serie de plantillas desde cuatro posiciones, y en cada una de esas posiciones la cámara a -45° , 0° y 45° usando el trípode. Con ello se consigue una orientación interior, comparando sus posiciones actuales con las posiciones que ellas habrían ocupado si la cámara hubiese producido una proyección central perfecta. La información que proporciona, es la distancia focal equivalente, la distancia focal calibrada, la distorsión radial promedio del objetivo, las coordenadas del punto principal, la distancia entre las marcas fiduciales opuestas, el ángulo de intersección de las líneas fiduciales y la planeidad del plano focal.

7.7.2.1.2. PROCESADO DE LA INFORMACIÓN

La segunda fase en la metodología de la fotogrametría, es el procesado de la información. La fotogrametría digital se basa en la utilización de imágenes digitales o numéricas. Una imagen digital es un mapa de píxeles, es decir, un mosaico de pequeños cuadrados como una matriz rectangular, donde el valor numérico de cada elemento de la matriz corresponde a un valor en una escala de colores. Para la aplicación fotogramétrica, basta saber qué pixel corresponde al punto principal y cual es la distancia principal medida en píxeles, referidos en esta unidad. Las coordenadas del punto de la imagen están definidas numéricamente por la posición del pixel en la matriz de la propia imagen. La determinación de los puntos clave puede realizarse de manera automática mediante el proceso de correlación de imágenes, definiendo un pixel en una imagen y buscándose en otra, cumpliendo las condiciones de valores cromáticos del propio pixel y de los de su entorno equivalentes de su entorno a los del pixel inicial. Estas

Distance (meters)	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far					
0.25	0.25	0.24	0.26	0.24	0.28	0.24	0.27	0.29	0.27	0.32	0.2	0.22	0.32	0.22	0.10	0.37	0.17	0.48	
0.5	0.48	0.52	0.47	0.53	0.45	0.55	0.45	0.57	0.45	0.60	0.40	0.57	0.72	0.34	0.65	0.30	1.53	0.28	10.4
0.75	0.70	0.80	0.69	0.82	0.67	0.88	0.64	0.92	0.60	1.01	0.35	1.1	0.50	1.02	0.44	2.11	0.21	0.31	∞
1	0.82	1.09	0.89	1.14	0.82	1.21	0.80	1.32	0.74	1.52	0.07	1.9	0.59	1.10	0.51	3.02	0.42	0.34	∞
1.5	1.33	1.72	1.37	1.84	1.15	2.07	1.10	2.37	0.96	3.11	0.07	5.5	0.74	0.81	0.45	0.45	0.38	∞	∞
2	1.70	2.42	1.81	2.66	1.40	3.06	1.34	3.62	1.19	6.50	0.01	0.4	0.84	0.68	0.65	0.41	∞	∞	∞
2.5	2.05	3.19	2.01	3.60	1.74	4.41	1.55	5.46	1.34	10.8	0.02	0.1	0.91	0.72	0.56	0.42	∞	∞	∞
3	2.38	4.06	2.19	4.75	1.97	5.28	1.73	11.4	1.47	∞	0.02	0.1	0.97	0.76	0.58	0.44	∞	∞	∞
3.5	2.68	5.00	2.45	5.94	2.10	6.80	1.88	25.0	1.59	∞	0.02	0.1	1.02	0.78	0.60	0.44	∞	∞	∞
4	2.97	6.13	2.68	7.07	2.30	8.11	2.02	216	1.67	∞	0.02	0.1	1.06	0.81	0.61	0.45	∞	∞	∞
4.5	3.23	7.36	3.00	10.11	2.62	20.7	2.14	∞	1.75	∞	0.02	0.1	1.09	0.83	0.62	0.46	∞	∞	∞
5	3.48	8.69	3.15	13.7	2.87	38.4	2.34	∞	1.85	∞	0.02	0.1	1.12	0.84	0.63	0.46	∞	∞	∞
5.5	3.72	10.0	3.28	17.0	3.01	52.8	2.54	∞	1.89	∞	0.02	0.1	1.14	0.86	0.64	0.46	∞	∞	∞
6	3.94	11.5	3.45	22.5	3.25	∞	2.42	∞	1.94	∞	0.02	0.1	1.16	0.87	0.64	0.47	∞	∞	∞
8	4.71	26.4	4.03	50.9	3.54	∞	2.69	∞	2.11	∞	0.02	0.1	1.22	0.92	0.66	0.48	∞	∞	∞
10	5.34	78	4.48	∞	3.65	∞	2.80	∞	2.23	∞	0.02	0.1	1.26	0.92	0.67	0.48	∞	∞	∞
15	6.50	∞	5.28	∞	4.12	∞	3.19	∞	2.41	∞	0.02	0.1	1.31	0.92	0.68	0.49	∞	∞	∞
20	7.29	∞	5.77	∞	4.45	∞	3.37	∞	2.51	∞	0.02	0.1	1.34	0.92	0.68	0.49	∞	∞	∞
30	8.29	∞	6.30	∞	4.61	∞	3.57	∞	2.62	∞	0.02	0.1	1.37	0.92	0.70	0.50	∞	∞	∞
50	9.50	∞	6.97	∞	5.14	∞	3.76	∞	2.71	∞	0.02	0.1	1.39	0.92	0.71	0.50	∞	∞	∞
∞	11.5	∞	8.12	∞	5.76	∞	4.07	∞	2.88	∞	0.02	0.1	1.46	0.93	0.73	0.52	∞	∞	∞

Figura 36. Tabla de profundidades de campo. Fuente: [www.dofmaster.com].

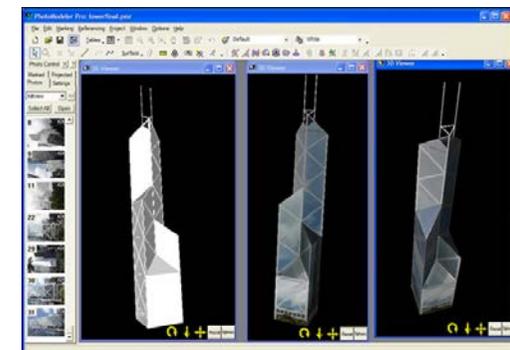


Figura 37. Ejemplo de Photomodeler. Fuente: [http://www.photomodeler.com/index.html].



Figura 38. Ejemplo realizado con 123D Catch. Fuente: [<http://www.123dapp.com/catch>].



Figura 39. Ejemplo realizado con 4e. Fuente: [<http://4-e.es/>].

equivalencias se definen matemáticamente mediante algoritmos y el programa los ejecuta automáticamente en tiempo real (Almagro 2004b). Al proceso de detección de puntos clave entre la colección de imágenes se llama SIFT, visto anteriormente. Al proceso de creación de la nube de puntos discreta a partir de la detección de los puntos clave, se denomina *Bundle Ajustment*, y por último, el proceso de generación de la nube de puntos densa, se denomina *Multi View-Stereo*. Estas fases, han adquirido características de trabajos como CMVS⁵² y PMVS2⁵³ desarrollados por Yasutaka Furukawa.

Además de la nube de puntos, existe la posibilidad de crear una malla poligonal mediante triangulación y la aplicación de la textura según los diversos puntos de vista. Finalmente, el resultado es una nube de puntos con datos métricos tridimensionales y con información cromática.

Existen varios programas aplicados a la fotogrametría que usan SfM. El primero de ellos es el más veterano, *Photomodeler*. La primera parte de *Photomodeler* utiliza la fotogrametría clásica. Es capaz de restituir de forma manual un objeto mediante la identificación de puntos homólogos en distintas fotografías. Se indica su uso para volumetrías sencillas, con superficies planas, ya que se pueden ir modelando de una forma sencilla e intuitiva. Existe la versión de *Photomodeler Scanner*, que además introduce la restitución automática de la geometría del edificio mediante el *SmartMatch* para la obtención de la nube de puntos densa (fig. 37).

En el mercado también está disponible *123D Catch*. Se puede entender a modo de aficionado, ya que se realizan las fotografías con cualquier dispositivo, móvil, Tablet o cámara y se mandan a una dirección de correo. Te devuelven el modelo tridimensional completo, rápido y a baja resolución, por lo que no necesitas tener nociones de fotogrametría. Se suele utilizar para modelos de pequeño tamaño que posteriormente se van a imprimir con una impresora 3D. Utiliza el método SfM con una primera identificación de las características comunes de imágenes utilizando un algoritmo similar al SIFT. Posteriormente, se realiza el ajuste de paquete y la determinación de los parámetros de orientación interior y exterior y, finalmente, genera un modelo de malla que representa el objeto (Bartos et al. 2014) (fig. 38).

4e es un software de fotomodelado que crea nubes de puntos a partir de fotografías (Ortiz 2013). Tiene automatizados todos los procesos, los pasos a seguir son: la calibración, la orientación, la definición del área y guardar el modelo 3d generado. Permiéndote generar un modelo en baja, media y alta resolución de nube de puntos que después hay que procesar en otro programa para la obtención de la maya. Este programa se puede usar sin tener conocimientos previos de fotogrametría (fig 39).

⁵² CMVS significa *Clustering Views for Multi-view Stereo*. Este software toma la salida del *Structure from Motion* como su entrada y descompone las imágenes de entrada en un conjunto de agrupaciones de tamaño manejable. La unión de las reconstrucciones de todos los grupos proporciona el conjunto con todos los detalles. Este *software* se usa en conjunto con el *Bundle Ajustment* y con PMVS2.

⁵³ PMVS2 significa *Multi-view Stereo Software Patch based Version 2*. PMV es un *software* multi- vista que toma un conjunto de imágenes y reconstruye la escena 3D de un objeto o una escena visible a partir de dichas imágenes, generando una nube de puntos.

Por último, *VisualSFM* está desarrollado por el ingeniero chino Changchang Wu (Wu 2011). Es una aplicación libre con una interfaz gráfica para la reconstrucción en 3D que utiliza *Structure from Motion* (SfM). El sistema de reconstrucción integra varios de los proyectos en los que ha trabajado este ingeniero, SIFT en GPU (SiftGPU), Ajuste *Multicore Bundle*, y *Towards Linear-line Incremental Structure from Motion*. *VisualSFM* corre rápido explotando el paralelismo de varios núcleos para la detección de características, la función de adaptación y el ajuste del paquete de imágenes (fig. 40).

En nuestro ejemplo de aplicación, el programa de restitución utilizado se llama *Photoscan* de *Agisoft*, aunque los desarrolladores no lo dejan del todo claro, también utiliza SfM. Es un programa que cuenta con una gran velocidad de cálculo y corrige errores sistemáticos de las imágenes producidos por deformaciones y distorsión del objetivo, lo que hace posible la restitución de fotografías obtenidas con cámaras convencionales sin necesidad de una previa calibración de la cámara. Es un software rápido, tiene un fácil manejo y está al alcance de cualquier usuario. Pero su mayor ventaja es que proporciona unos notables resultados (Agustín, Fernández y Peinado 2013).

Su utilización consta de tres fases: la orientación de las cámaras (para la generación de la nube de puntos discreta y la generación de la nube de puntos densa), la creación de la malla, y la aplicación de la textura.

La primera fase utiliza los tres sistemas descritos anteriormente, SIFT, *Bundler Adjustment* y *Multi-view Stereo*. El primero, SIFT (*Scale Invariant-Feature Transform*) (Lowe 1999; Lowe 2004) por el que detecta de forma automática puntos clave o características comunes, en este caso radiométricas, entre pares de imágenes, por lo que consigue en un periodo corto de tiempo, cotejar cientos de imágenes (Pereira 2013). Con el *Bundler Adjustment* crea la nube de puntos discreta. En *Photoscan*, este proceso que engloba a los dos, lo realiza automáticamente, desplegando el Flujo de Trabajo y marcando Orientar imágenes. Además, se puede gestionar la cantidad de puntos clave por fotografía. La nueva versión ha incorporado la opción de generar una nube de puntos densa, con ello se consigue describir mejor el objeto y ayuda posteriormente a la generación de la malla poligonal.



Figura 40. Interfaz de VisualSFM. Fuente: Bartos, Pukanská y Sabová (2014).

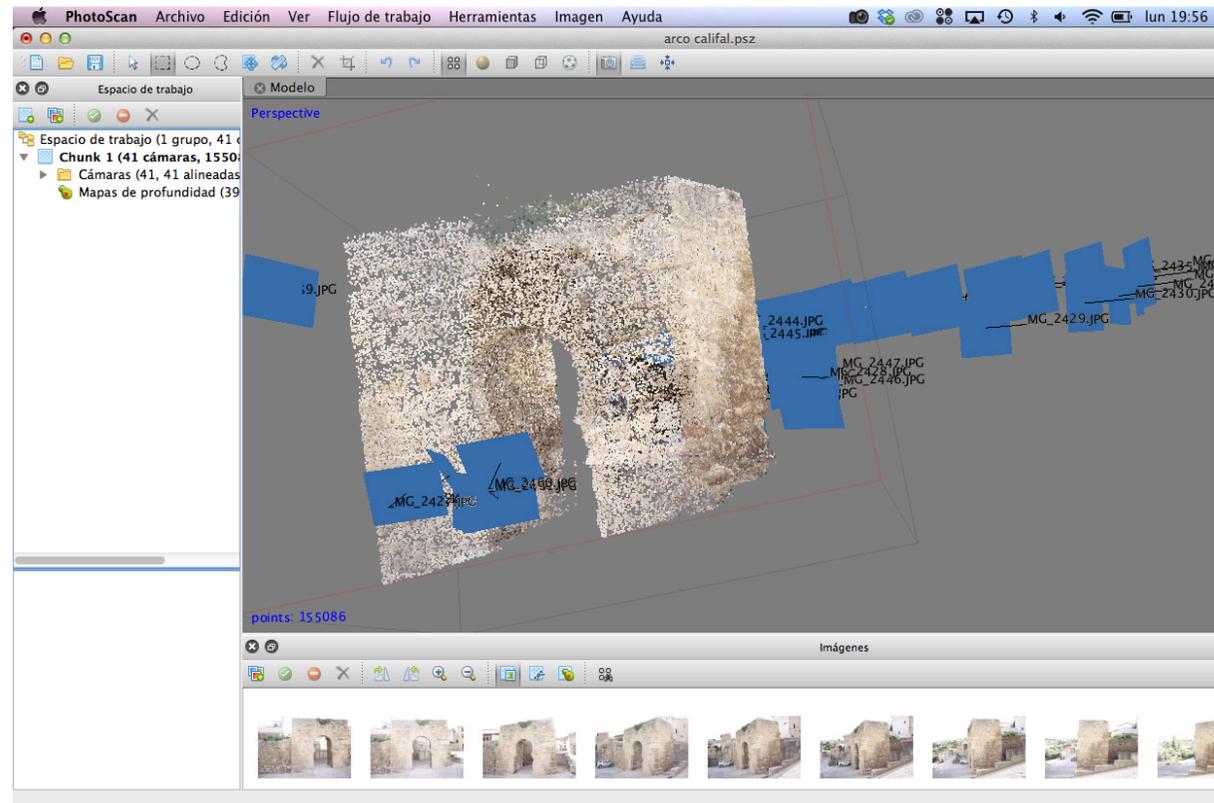


Figura 41. Nube de puntos del modelo del arco califal. Fuente: elaboración propia.

Para la obtención del modelo del arco califal se han utilizado un total de 41 fotografías, entre ellas se encuentran las creadas a su alrededor, las de detalle y las de la parte superior. En parte de ellas se ha creado una máscara para eliminar el entorno del procesado. La densidad de la nube de puntos obtenida es de 155.000 puntos, considerándose una densidad baja pero excelente para este tipo de trabajo porque abarca la información suficiente para generar una buena nube de puntos con un rendimiento óptimo del ordenador (fig. 41). Densidades muy altas se podrían considerar alrededor de los 15 millones de puntos con el consecuente encarecimiento del rendimiento. La nube de puntos contiene información colorimétrica porque ha extraído información de los píxeles de las imágenes en la orientación.

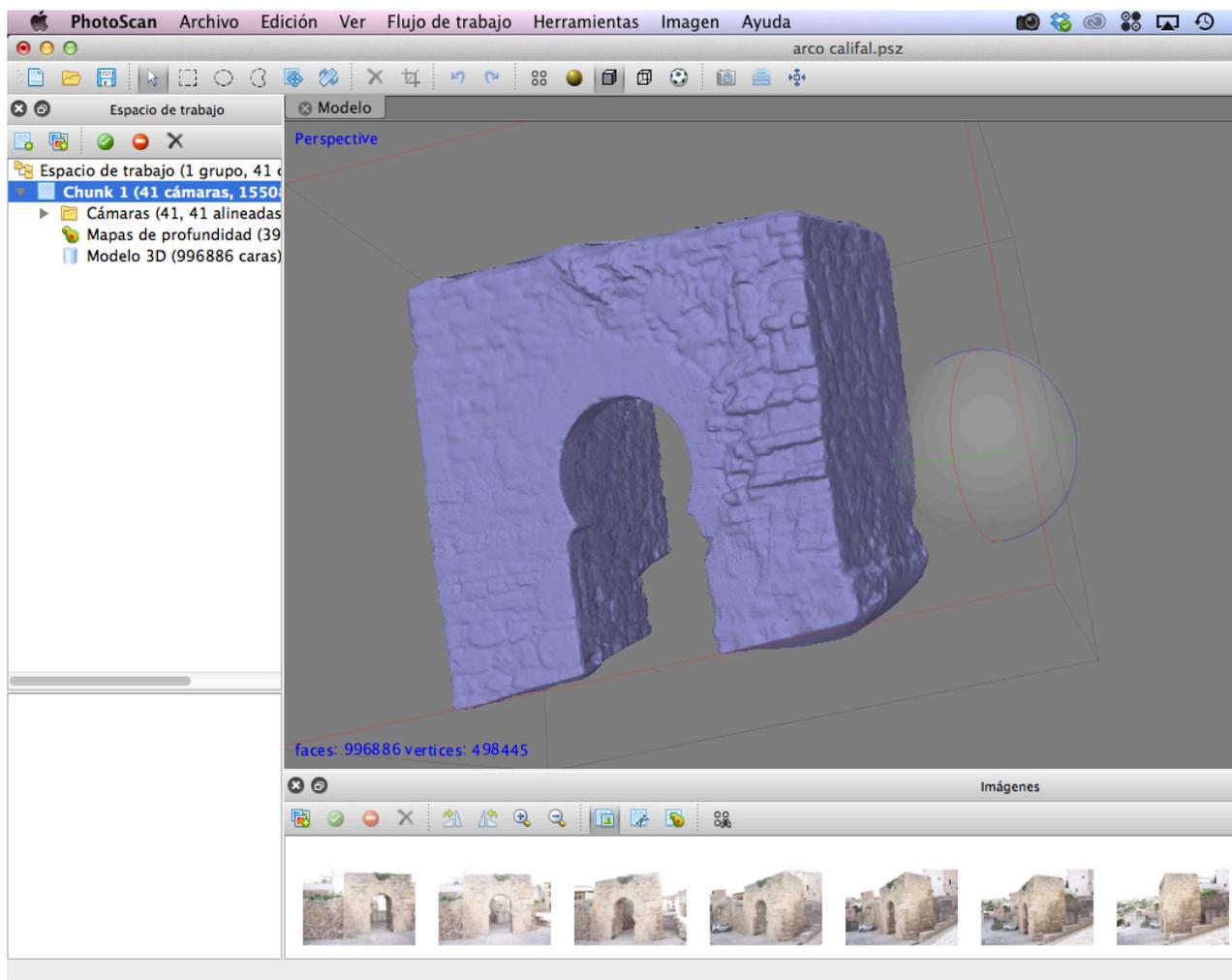


Figura 42. Malla del modelo del arco califal. Fuente: elaboración propia.

Previo a la generación de la malla, conviene realizar una gestión y discretización de la nube de puntos reduciendo el ruido y eliminando puntos no válidos para evitar efectos indeseados en la posterior creación de la malla. La malla se ha generado por la triangulación de la nube de puntos y cuenta con 1.000.000 de triángulos (fig. 42). Posteriormente, se ha aplicado la textura con un mapa de dimensión 4096x8192 para conseguir unos resultados más finos y detallados en las ortofotografías. La textura se introduce por medio de una orientación y rectificación de cada fotografía adaptada al modelo desde su punto de vista, creando un atlas de la textura a colocar sobre la malla, es decir, la imagen desplegada en horizontal de todos los fragmentos que conforman la textura. La incorporación de la textura a los modelos tridimensionales no sólo mejora su aspecto estético, sino que le confiere información cualitativa, permitiendo distinguir revestimientos, aparejos y pinturas. El resultado final es un modelo tridimensional texturizado y cuenta con una resolución de 0,01m/pixel (fig. 43).



Figura 43. Modelo tridimensional texturizado del arco califal. Fuente: elaboración propia.

Los puntos de apoyo son necesarios para escalar y situar el modelo en coordenadas XYZ para situar la verticalidad. Bastará conocer una longitud dentro del objeto, el resto de medidas ayudaran a conocer la precisión del modelo. Antiguamente los puntos de apoyo eran realmente necesarios para llevar a cabo la restitución, se necesitaban cuatro puntos perfectamente visibles en cada par de fotografías, para poder restituir la zona incluida dentro del perímetro de los cuatro vértices que eran esos cuatro puntos.

En nuestro caso marcamos con unas dianas y tomamos las medidas con un fluxómetro. Las hemos introducido en el programa *Rhinoceros*, para escalar el modelo. Las otras dos medidas nos han servido para conocer el grado de precisión. Al ser un objeto pequeño, el error de medición máximo obtenido ha sido de 1mm (fig. 44).

Desde el inicio de este trabajo se han tratado de definir unos criterios y principios básicos comunes para elaborar un método de trabajo unitario y poder realizar un procedimiento sistemático tanto en la captura de datos como en la generación de geometrías. De este modo, cualquier levantamiento que se realice mediante la fotogrametría, llevarán adheridos la metodología que se ha explicado anteriormente.

Siguiendo esta metodología, se ha realizado el siguiente ejemplo, el levantamiento de la puerta románica de la Iglesia de La Peña de Ágreda. La iglesia se remonta a los siglos XII o XIII, siendo la iglesia más antigua de Ágreda. La portada es románica de arco de medio punto con apoyos interiores de medias columnas. Cuenta con cuatro arquivoltas decoradas con cenefas incisas de trenzas, ondas y roleos, sobre jambas con impostas sencillas. Los capiteles son de hojas y volutas bastante complicadas, de piñas entre palmetas (ver Anexo).

Al tratarse de una puerta, la toma fotográfica se ha realizado como el ejemplo de “portada”, con las mismas características y opciones de la cámara fotográfica y el procesado de datos con el programa de *Photoscan*. El resultado ha sido el siguiente (fig. 45).

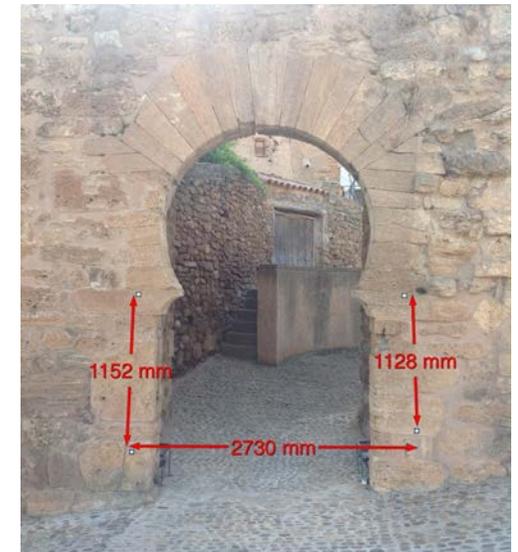


Figura 44. Puntos de control sobre el arco.
Fuente: elaboración propia.

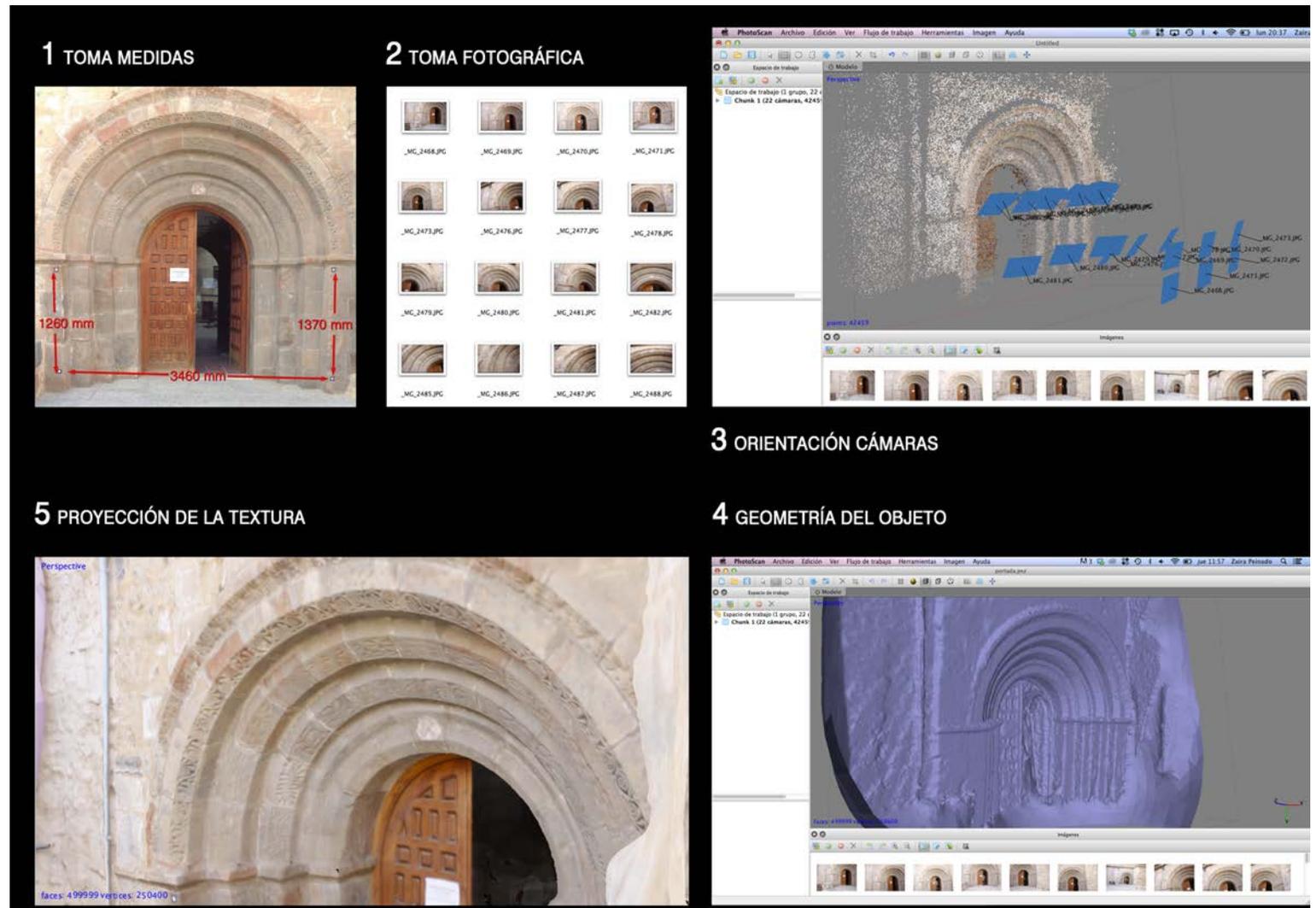


Figura 45. Metodología de trabajo fotogramétrico de la portada de la Iglesia de la Peña. Fuente: elaboración propia.

7.7.2.1.3. IMPRESIÓN 3D

Actualmente la fotogrametría o el escaneo 3D van ligados a la impresión 3d. Por ello, parece conveniente dedicar unas pocas palabras a su génesis. Dadas las características de esta tecnología, la impresión está perfectamente ligada al mundo de la arquitectura y del patrimonio donde obtener una maqueta del edificio o una réplica de un objeto, resto arqueológico o incluso paleontológico es mucho más rápido y económico que con las técnicas tradicionales. Cualquier objeto imaginable es construible de manera asequible gracias a la impresión 3D.

Se están llevando a cabo proyectos donde la fotogrametría y la impresión son importantes, como por ejemplo en el campo de anástilosis virtual. Mediante la reproducción 3D de piezas o fragmentos de restos arqueológicos y su impresión en 3D, se puede reconstruir una pieza y recrear aquellas desaparecidas para reproducir un objeto tal como fue.

En el campo de la catalogación del patrimonio, el simple hecho del prototipado de réplicas del patrimonio, es un avance para conocer el estado actual en un momento determinado. Otro sector que podría aprovechar las ventajas que ofrece esta tecnología, es el relacionado con la construcción, desde maquetas de edificios, terrenos, stands de arquitectura efímera, los arquitectos podrían mostrar sus diseños a sus cliente, en una maqueta aportando mucha más información, y siendo mucho más sencilla la comprensión del proyecto y la volumetría del edificio que los habituales planos en 2D.

La Fabricación Aditiva, o *Additive Manufacturing*, como se conoce internacionalmente, consiste en la sucesiva superposición de capas micrométricas de material, normalmente en forma de polvo hasta que consigue realizar el diseño físico de la pieza final. La consolidación del material en cada una de las capas se consigue de manera distinta según la tecnología. Esta modalidad de fabricación supone una nueva revolución industrial y es la pieza angular de la fábrica de la era digital. Permite prescindir de herramientas y utillajes de fabricación, reproducir cualquier geometría que se pueda imaginar, ofrecer una respuesta inmediata a las cambiantes necesidades del mercado, y atender a la creciente demanda de diferenciación y personalización de los productos (Lafuente 2011).

Las impresoras 3D son máquinas que permiten la obtención de un modelo físico a partir de un modelo 3D. *Z Corporation* (comúnmente abreviado *Z Corp*) (fig. 46) nace en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en Burlington, Estados Unidos, en el año 1994. La letra Z, hace méritos a la profundidad del eje Z, que se suma a los ejes X e Y, otorgando por tanto la 3ª dimensión a objetos tal y como lo hace la impresión 3D. En el año 1997 se convierte en líder de esta tecnología con el lanzamiento de la impresora 3D más rápida del momento, contando entre sus clientes con empresas como Kodak, Toyota, Whirlpool. En el año 2000 la empresa expande su mercado con delegaciones en Asia y Europa. Actualmente tiene distribución y servicio en más de 61 países y año a año se introducen mejoras tanto en los materiales como en los procesos posteriores. Es la tecnología aditiva más usada actualmente.



Figura 46. *ZCorp 650* del Instituto Corona de Aragón. Fuente: elaboración propia.

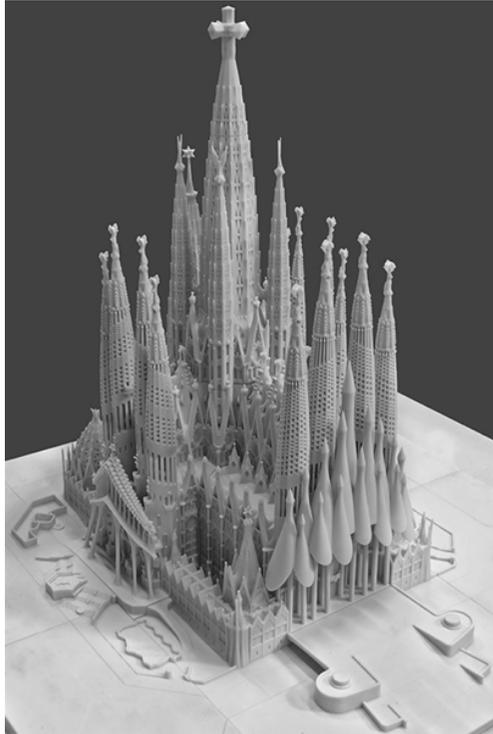


Figura 47. Réplica de la Sagrada Família.
Fuente: [http://www.reus.cat/noticia/el-gaud%C3%AD-centre-incorpora-l%E2%80%99espai-expositiu-una-maqueta-de-la-sagrada-fam%C3%ADlia-acabada]

El grueso de estas impresoras lo forman aquellas que trabajan en polvo de escayola. El cabezal en este caso, de un modo similar al de una impresora convencional, expulsa un aglomerante y tinta las zonas que requieran color. Por iteración de este proceso, logramos obtener el modelo impreso deseado. Se destina a la fabricación de piezas para el testeo visual, en las que se puede valorar la información aportada por el color o las texturas.

Las impresoras 3D *Z-Printer* utilizan inyectores estándar de impresoras de chorro de tinta para depositar selectivamente micro gotas de un adhesivo diluido sobre un lecho de polvo. Los materiales tienen base de yesos o celulosas adecuadamente formulados y en aquellos puntos en los que se deposita adhesivo, se aglutina y reacciona para formar un cuerpo sólido. La plataforma de construcción baja el espesor de una capa y un rodillo aplica una nueva capa sobre la anterior. La humedad remanente permite fijar parcialmente el polvo de la nueva capa sobre ella. Un nuevo avance del brazo con el cabezal recorriéndolo sucesivamente genera una nueva capa, y así sucesivamente, como lo haría una impresora de chorro de tinta convencional.

La gran ventaja que aporta esta tecnología es sin duda la aplicación del color y la lectura de mapas de bits, ventajas que no tiene ninguna otra tecnología de fabricación aditiva. La principal desventaja de estos sistemas es la resolución vertical, que no es muy buena (aproximadamente unos 90 micrómetros por capa). Otra desventaja es que las piezas de salida son muy frágiles, tienen un aspecto arenoso y de colores apagados. Es necesario un post proceso cuidadoso de limpieza y soplado para eliminar los restos de polvo adheridos a la pieza. Por otra parte el mantenimiento es muy bajo y la calidad aceptable. Tienen la gran ventaja de permitir dotar de color a nuestros prototipos, lo que abre en gran medida sus aplicaciones.

Uno de los pioneros en la utilización de estas impresoras, ha sido el organismo consultor de la construcción de la Sagrada Família. Se han basado en el levantamiento mediante láser escáner y fotogrametría del estado actual para aplicarle la implementación del proyecto comenzado por Gaudí y poder observar el resultado final. El resultado es consecuencia de la impresión de diversas piezas independientes. El trabajo ha sido realizado por Andrés de Mesa y Francisco Tabanera e impreso con una *ZCorp* (fig. 47).

En uno de los cursos impartidos en el Instituto Corona de Aragón sobre “Modelado tridimensional y fabricación aditiva”, se disponía de una *ZCorp 650*. Uno de los trabajos realizados fue la impresión del arco califal de Ágreda. El modelo como se ha descrito anteriormente fue levantado mediante fotogrametría, y exportado para la lectura del software de la impresora en formato *.stl. Se realizó una réplica en pequeño formato. El tono azulado fue un problema del reconocimiento de la textura, no se exportó la textura en ocho caracteres alfanuméricos. El prototipo muestra perfectamente los detalles de mampostería del arco (fig. 48).

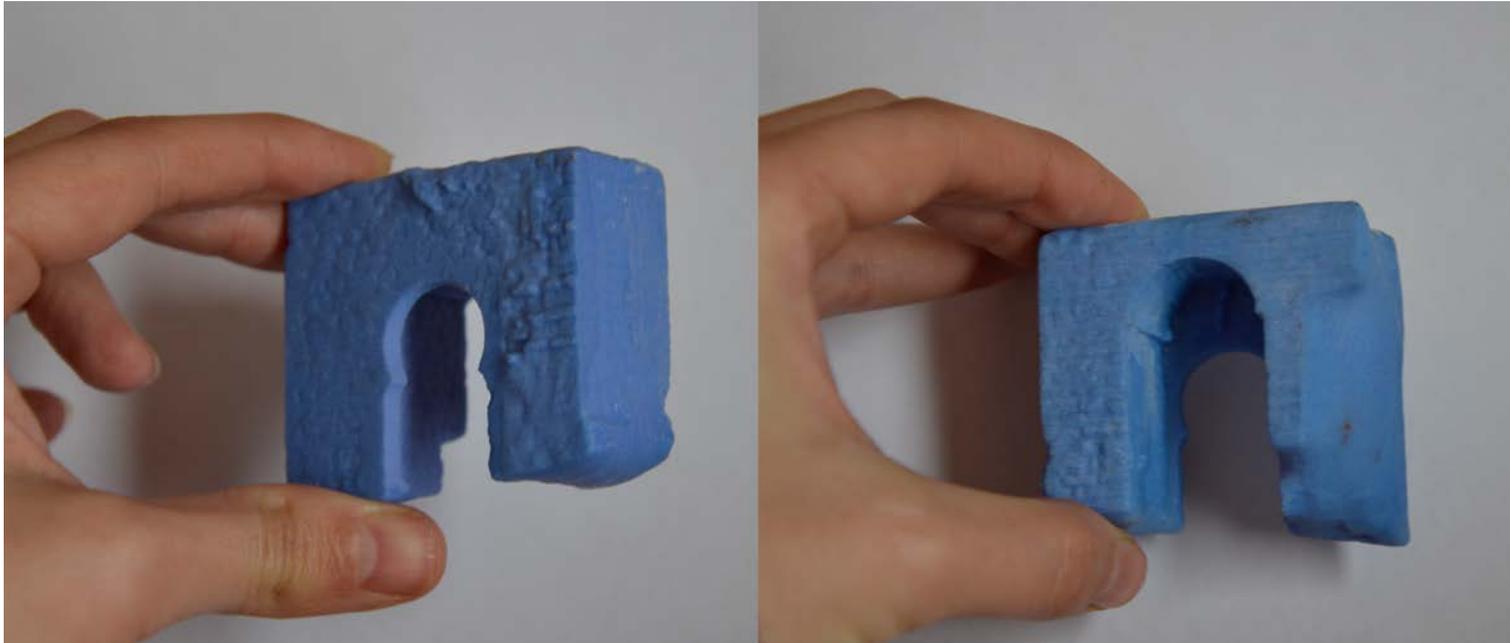


Figura 48. Réplica del arco califal de Ágreda. Fuente: elaboración propia.

7.7.2.2. LA FOTOGRAMETRÍA AÉREA

La fotogrametría aérea, está englobada dentro de los sistemas de medición fotogramétrica. Se utiliza para la obtención de datos de zonas inaccesibles como las cubiertas de un edificio o en el caso de unas ruinas arqueológicas, porque requiere la colocación de la cámara fotográfica, de manera que enfoque a un plano paralelo al horizontal y que a su vez, esté elevado. Es aquí donde interviene la fotogrametría aérea de baja altura mediante el uso de UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), comúnmente llamado *drone*. Los UAVs se entienden como vehículos motorizados aéreos deshabitados y reutilizables, según define van Blyenburgh (1999) (fig. 49). Cada día está más extendido el empleo de la fotografía aérea en cualquier ámbito, como el agrícola, agrónomo, arqueológico, arquitectónico, militar, en los reportajes video gráficos de cualquier actividad, publicitarios, en la detección de incendios y rescates de montaña, etc. mediante el uso de cámaras digitales o también térmicas.



Figura 49. Tipos de *drones*, Fuente: Nex y Remondino (2013).

La fotogrametría aérea tampoco es algo actual, se inició en el siglo XIX cuando Nadar en 1858 desde un globo aerostático tomó las primeras fotografías aéreas de París para una documentación cartográfica. La fotografía aérea más antigua que existe es la imagen de James Wallace Black de Boston desde un globo aerostático, tomada en 1860. En 1862 en Richmond, durante la Guerra Civil americana se realiza la primera aplicación militar de la fotografía aérea.

Otros métodos se han utilizado para conseguir este tipo de fotografías aéreas. Hay varios tipos, bien sean tripulados o no tripulados utilizados en arqueología y arquitectura para levantar la cámara fotográfica a fin de adquirir imágenes desde objetos en zonas a gran escala desde alturas relativamente bajas. Los objetivos principales de este tipo de sistemas son generalmente la documentación en 2D y 3D desde excavaciones del patrimonio arqueológico a monumentos y edificaciones.

Entre ellos, se encuentran los elementos estáticos, como escaleras, andamios, jabalinas. Aunque estas plataformas son rentables, estables y muy fáciles de mover, están limitados a una altura máxima operativa de no más de aproximadamente 20 m (fig. 50).

Entre los móviles aéreos se encuentran, las cometas, los globos, los dirigibles y las cometas de helio –*helikite*–, cuya dificultad estriba en su acertado control. El uso de las cometas en la fotografía aérea ha sido común desde la década de los 70 ya que son plataformas de bajo costo y pueden soportar varios kilogramos de carga útil. Lo único que necesita para su funcionamiento eficaz, es el viento. Pero es también el principal inconveniente, los vientos irregulares no son adecuados y el tamaño de la cometa depende de la velocidad del viento.

Los globos y dirigibles son dispositivos que pueden ser utilizados en condiciones de muy poco viento. El globo es extremadamente flexible y fácil de manejar. Sin embargo los globos y los dirigibles se vuelven difíciles en condiciones de viento. El helio también es caro y difícil y a veces imposible de encontrar en muchos países. Las *helikite* combinan un pequeño globo lleno de helio con las alas de cometa. El globo lleno de helio, le permite despegar en condiciones climáticas sin viento, mejorando la estabilidad y la capacidad de alcanzar mayores altitudes más altas (Verhoeven et al. 2008).

Un UAV es una aeronave que puede tener diversas formas, tamaños y características según el uso, distinguiéndose principalmente por dos variaciones: los de ala fija y los rotatorios (cuadricópteros con cuatro rotores o hexacópteros con seis rotores, etc.). Vuelan sin tripulación a bordo, y están controlados mediante una ubicación remota o si disponen de sistema GPS, pueden volar mediante un vuelo programado (fig. 51). Especialmente se encuentran los que tienen el despegue y aterrizaje de forma manual y el vuelo autónomo. Se pueden adquirir en el mercado perfectamente acabados o para su fabricación por piezas. Actualmente, las prescripciones⁵⁴ para volar aeronaves con un peso inferior a 25kg son las de un certificado básico u avanzado y volar fuera de las aglomeraciones urbanas.

⁵⁴ Prescripciones para las aeronaves civiles pilotadas por control remoto, pág. 59 [www.boe.es/boe/dias/2014/07/05/pdfs/BOE-A-2014-7064.pdf].

Los vehículos aéreos no tripulados que vuelan de manera autónoma, ofrecen un gran potencial de adquisición de datos automatizado. Sin embargo, la implementación de técnicas de adquisición y procesamiento de datos eficiente, evita la colisión con objetos de estos aparatos, y que requiere de un procesamiento en tiempo real, lo que hace inherente una herramienta especial de planificación de vuelo y su integración en el sistema de control de vuelo.

Cada *drone* varía en tamaño y peso, y la duración del vuelo oscila de las horas a los minutos, según usen gasolina o baterías. El tamaño del aparato influye en el peso que puede soportar, es decir, el tipo de cámara de fotográfica que puede sustentar. Ciertamente, cuanto mejor sea la cámara fotográfica, mejores resultados fotogramétricos se obtendrán. Cuanto más avanzado tecnológicamente sea del *drone*, más se incrementará su coste de mercado pero el tiempo de vuelo será mayor.

Por ejemplo, un sistema UAV (microdrones-MD4 1000) con un alto coste y tecnológicamente avanzado permite el uso de cámara réflex, tiempo de vuelo hasta 70 minutos dependiendo de la carga, del viento y de la batería, pudiendo operar de una manera más amplia dependiendo de las condiciones ambientales (fig. 52). Aun así es una alternativa a la fotografía-fotogrametría aérea tripulada.

Los UAVs estándar actuales permiten el registro y el seguimiento de la posición y la orientación de los sensores implementados en un sistema local o global de coordenadas. La implementación de sistemas GPS, así como la estabilización y las unidades de navegación permiten vuelos precisos, garantizando, por un lado, el solape suficiente de la imagen y, por otro lado, permite al usuario calcular el pre-vuelo exacto (Eisenbeiß 2009).

Antes de comenzar un trabajo fotogramétrico aéreo es necesario realizar un estudio de los requerimientos que son necesarios para poder adoptar una metodología –aparato aéreo- u otra, es conveniente tener en cuenta que no hay que invertir más dinero en comprar un *drone*, cuando por otros medios se pueden obtener los mismos resultados.

El uso de estos aparatos proporciona un control muy preciso a fin de producir fotografías aéreas y ortofotografías. El uso de estos dispositivos está creciendo tanto en arqueología como en patrimonio gracias a la mejora de los software fotogramétrico capaces de producir modelos 3D precisos en poco tiempo. Además existe la posibilidad de equipar al UAV desde una cámara fotográfica de pequeño-medio tamaño, cámaras de vídeo, sistemas de cámaras térmicas, de infrarrojos, sistemas LIDAR aerotransportado o una combinación de los mismos. A pesar de ello, es una tecnología de gama alta que sigue siendo inestable y con un costo muy elevado. Suelen tener riesgos de pérdida de control y caídas. Y por último se requiere gran habilidad en el manejo de vuelo y en la captura de datos.



Figura 50. Escaleras, andamios y jabalinas para la fotografía aérea. Fuente: Nex y Remondino (2013).



Figura 51. Planificación del vuelo en UAV para volar en vuelo programado. Fuente: [www.menci.com].



Figura 52. Microdrones MD4 1000. Fuente: [http://microdrones.com/products/md4-1000/md4-1000-media.php].

7.7.2.2.1. CASO DE ESTUDIO: EL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL

El objeto de estudio de este apartado es la documentación gráfica arquitectónica de un edificio eclesiástico de la villa de Ágreda (Soria) compuesto por varios volúmenes donde se combina la adquisición de datos mediante fotogrametría terrestre con aérea de bajo coste y la automatización de un flujo de trabajo genérico usando un UAV como una plataforma de adquisición de datos fotogramétricos.

El reto al que nos enfrentamos, fue el de fotografiar las cubiertas de la iglesia ya que era nuestro punto inaccesible. Dado el bajo presupuesto con el que contábamos, decidimos comprar un cuadricóptero de bajo coste, finalizado, comúnmente llamado “de llave en mano”, de un material muy resistente. Finalizado porque no disponemos de los conocimientos para fabricar uno y de material resistente para que pudiera soportar golpes e imprevistos hasta que consiguiéramos adquirir el manejo de vuelo necesario.

Como nuestro objetivo no era el de digitalizar grandes áreas, sino la cubierta de una iglesia, nos inclinamos por un *drone* cuyo manejo fuera manual, y de esa forma no encarecer todavía más su coste, ya que las grandes áreas requieren vuelo programado y una duración de vuelo mayor.

A continuación se va a exponer una metodología de trabajo tanto de la captura de datos, como del tratamiento de la información, tratando de definir unos criterios y principios básicos extrapolables al levantamiento de otros edificios de similares características y condiciones de volumen.

El edificio objeto de estudio es la Iglesia de San Miguel, Ágreda (fig. 53 y 54).

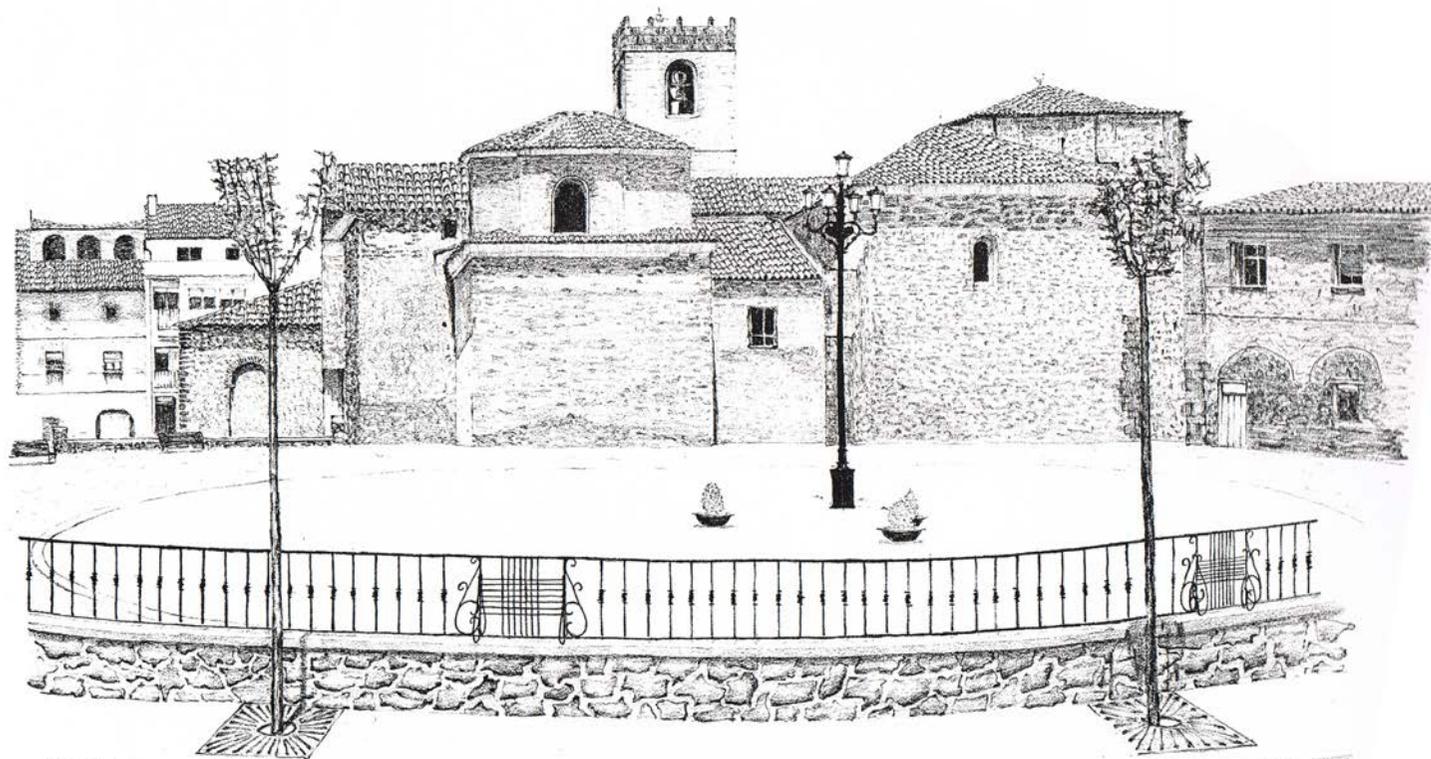


Figura 53. Dibujo iglesia de San Miguel. Fuente: elaboración propia.



Figura 54. Imagen aérea de la Iglesia de San Miguel, Ágreda. Fuente: elaboración propia.

El trabajo está estructurado en dos fases: la captura de datos fiable del exterior en el estado actual de la edificación y el posterior trabajo de procesado de datos en gabinete.

La captura de datos terrestre, se realizó con la misma cámara que se realizaron los trabajos anteriores, una cámara digital Profesional "Nikon D3200" y un objetivo de 18-105mm de 24,2 megapíxeles de resolución con trípode. Para la aérea se usó el cuadricóptero de "Phantom" de DJI con la cámara "GoPro Hero 3" *Silver edition* (fig. 55). Este *drone* tiene una velocidad máxima de 10m/s, con baterías de LiPo, una duración de vuelo aproximada de 15 minutos y una altura de vuelo de 1000 m que es la distancia máxima de comunicación con el mando. Dispone de giróscopos, sistema GPS y vuelta a casa.

El primer paso de la captura de datos es la planificación de la toma fotográfica (fig. 56). Por un lado, la terrestre se ha realizado de una vez, fotografiando el edificio a unos 15 pasos de distancia del edificio, con una longitud focal de 18mm, y unos pares frontales distanciados un paso y medio o dos, como resultado de multiplicar la distancia al edificio por 0,10-0,15, y de esta forma intentar evitar en la medida de lo posible los pares verticales asegurando un solape del 60% entre una fotografía y la otra. Las características de la cámara son: diafragma a F/11 y sensibilidad ISO 100, enfoque automático en la primera fotografía y manual en el resto, usando el mismo enfoque en todas las fotografías (Agustín, Fernández y Peinado 2014). Por último, la velocidad se ha variado en función de la luz y del histograma, aplicando el *derecheo* de la gráfica, que es la zona del histograma donde se obtienen las mejores texturas (Cueli 2011).

Acompañando a la toma fotográfica terrestre, se realizó la captura de las coordenadas de una serie de puntos de control sobre la fachada con una estación total para que el modelo digital tuviera las dimensiones reales.

El primer problema con el que nos encontramos fue que, a diferencia de la fotogrametría terrestre, la fotogrametría aérea se realizó con una cámara donde las opciones vienen ya definidas. Esta cámara cuenta con una calidad de 10Mpixels y almacenamiento en MicroSD de clase 10; con respecto a otras versiones, ha mejorado en la nitidez, cuenta con un gran angular de reducida distorsión y balance de blancos automático. Tiene la opción de hacer ráfagas 3/1seg, 5/1seg, 10/1seg y 10/2seg. Además dispone de wifi por lo que se puede seguir el vuelo desde un iPad o dispositivo móvil en tiempo real, por medio de una aplicación propia.

Pensamos que sería un reto poder obtener unos buenos resultados de la suma del levantamiento fotogramétrico de una cámara profesional con otra de calidad media. Por ello, para salvar la utilización de un gran angular en la cámara GoPro, ya que en este caso utiliza una parte central pequeña de la fotografía, se intentó en la medida de lo posible volar bajo, intentando conseguir bastante solape entre una imagen y la siguiente.



Figura 55. Cuadricóptero de Phantom. Fuente: [<http://www.dji.com/product/phantom>].

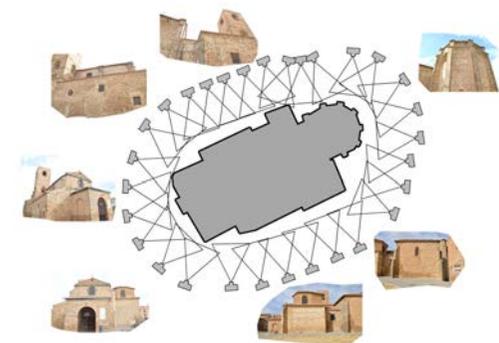


Figura 56. Planificación de la toma fotográfica. Fuente: elaboración propia.



Figura 57. Toma de fotografía aérea. Fuente: elaboración propia.

Antes de la realización del vuelo, hay que hacer una pequeña planificación. Esto es, la comprobación del tiempo atmosférico y de la velocidad del aire. El día ideal sería aquel que estuviera un poco nublado para que la iluminación fuera uniforme, sin sombras y que no hubiera rachas de aire o, en su defecto, con una velocidad del aire no mayor a 6m/s.

El vuelo se realizó de forma manual, previa calibración del *drone* para la adquisición de GPS, con una altura que no sobrepasó los 50m y sin georreferenciación del vuelo. La georreferenciación es la utilización de puntos de control en el terreno. Esto se usa cuando se necesitan a levantar grandes extensiones de terreno, en nuestro caso, solo necesitábamos fotografiar las cubiertas de un edificio, sin embargo, tomando los puntos de control de la fachada, nos bastaba para referenciar la cubierta (fig. 57).

Existen una serie de problemas con estos vuelos, uno de ellos es que en cualquier momento se puede quedar sin batería o se puede producir un cortocircuito por cualquier causa y caer a plomo, incluso que tenga problemas de estabilidad por el viento, caer sobre otra propiedad o punto inaccesible y hacer difícil su recuperación. El peor de los problemas, es que falle el aparato, se pierda el control y no se averigüe cuál ha sido la causa. En nuestro caso, se acabó la batería y una leve racha de aire lo hizo caer sobre la cubierta de la iglesia. Lo recuperamos con una escalera de 10 metros.

Una vez realizada la captura de datos, el siguiente paso es el tratamiento de la información en gabinete. El programa utilizado para la restitución fotogramétrica fue *Photoscan* de *Agisoft*, como el usado en el trabajo con el arco Califal.

Su entorno de trabajo es sencillo y permite crear grupos de trabajo. En concreto se estructuró en dos, uno para las fotografías tomadas a pie y otro para las aéreas. El trabajo para la obtención del modelo digital consta de tres fases: la orientación automática de los pares estereoscópicos para la generación de la nube de puntos (discreta y densa), la creación de la malla y la aplicación de la textura. En este caso, el modelo fue realizado con la versión anterior del software, por lo que la nube de puntos obtenida, es la nube de puntos discreta de la detección de los puntos clave entre imágenes.

Se han utilizado un total de 500 fotografías, creándose sus respectivas máscaras sobre el edificio para dejar fuera coches y contenedores que se encontraban adosados a uno de los laterales de la iglesia. La densidad de las nubes de puntos obtenidas de las fachadas oscila en 1.000.000 puntos, y 300.000 puntos de las cubiertas, considerándose una densidad baja pero excelente para este tipo de trabajo porque abarca la información suficiente para generar una buena nube de puntos con un rendimiento óptimo del ordenador (fig. 58). Densidades muy altas se podrían considerar alrededor de los 15 millones de puntos con el consecuente encarecimiento del rendimiento.

Previo a la generación de la malla, conviene realizar una gestión y discretización de la nube de puntos reduciendo el ruido⁵⁵ y eliminando puntos no válidos para evitar efectos indeseados en la posterior creación de la malla.

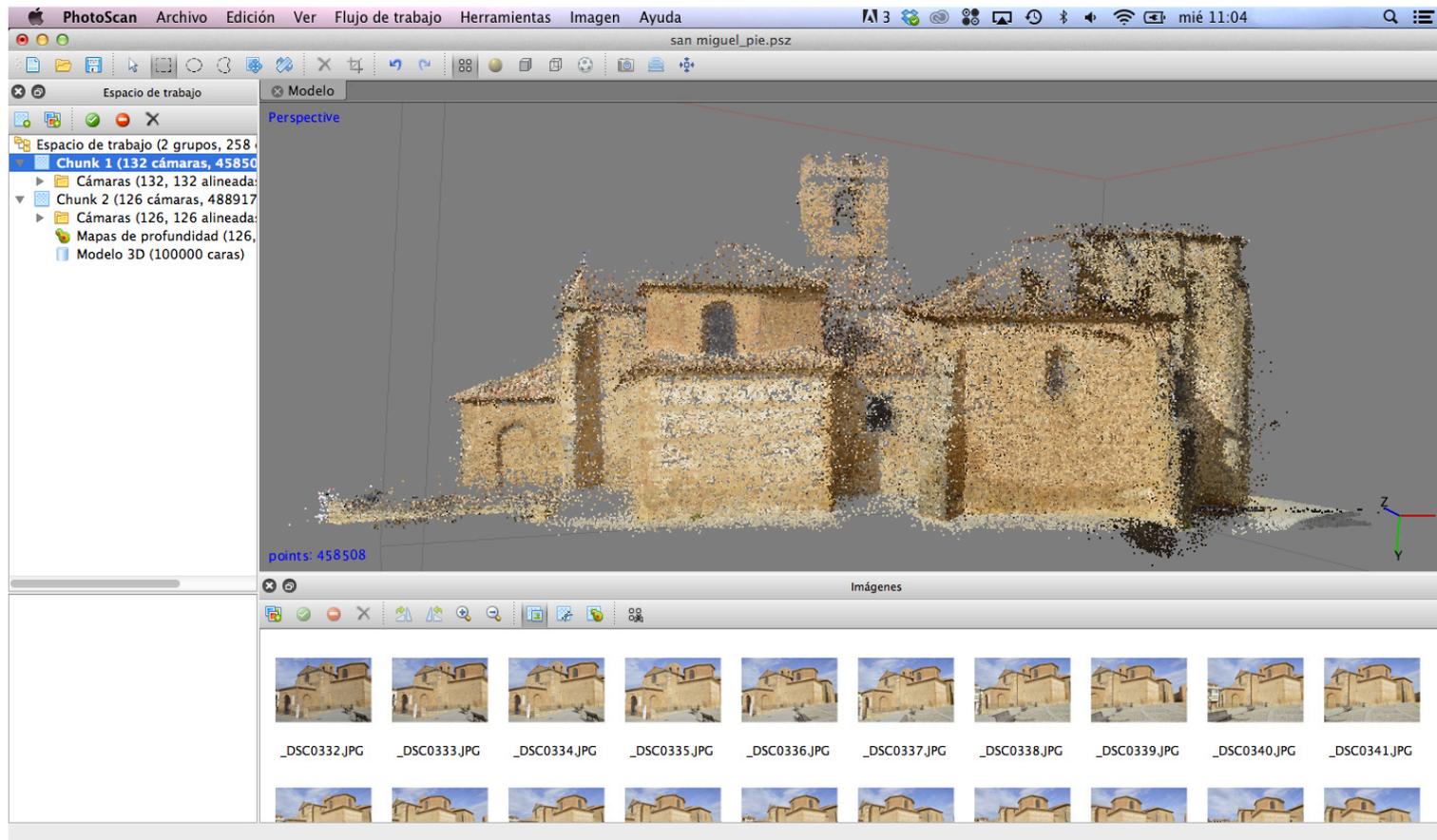


Figura 58. Nube de puntos discreta del grupo de trabajo de la fachada. Fuente: elaboración propia.

⁵⁵ Se considera ruido en una nube de puntos, a los puntos que quedan fuera de la definición del objeto y por tanto distorsionan el modelo.

Las dos mallas se han generado por la triangulación de la nube de puntos y cuentan cada una con 120.000 y 100.000 triángulos respectivamente, con un mapa de textura aplicado de dimensión 4096x8192 para conseguir unos resultados más finos y detallados en las ortofotografías. La textura se introduce por medio de una orientación y rectificación de cada fotografía adaptada al modelo desde su punto de vista. El resultado final es un modelo tridimensional texturizado y cuenta con una resolución de 0,01m/pixel (fig. 59).

En la malla de la cubierta, se ha realizado un pequeño ajuste radiométrico porque las fotos utilizadas para la restitución de la cubierta muestran diferencias de texturas debido a que se realizaron distintos vuelos y la incidencia de la luz del sol iba cambiando según se movía el aparato. Ello provocó una leve diferencia de tonalidad en la cubierta principal, que fue corregida para igualar las tonalidades de las tejas.

El escalado del modelo y la unión de las dos mallas se ha desarrollado con el programa de modelado tridimensional *Rhinoceros* porque solo disponemos de la licencia *Standard* de *Photoscan*. Este programa permite el manejo de nubes de puntos y mallas. Se ha importado el modelo con extensión *.obj para que reconozca la textura y en él, se han recortado, unido mallas, escalado y orientado los objetos. Con dos de todos los puntos de control tomados con la estación total, se ha escalado el modelo, y el resto de puntos, han ayudado a comprobar la precisión. El error de medición máximo en este modelo es de 3 cm en el lado más largo.

Existen otros programas para la visualización de la malla y su textura. *ArcScene* y *Skyline Terra Explorer* son software comerciales que permiten la visualización de datos de textura. *Maya* fue desarrollado para el control de objetos en 3D y se usa en aplicaciones tales como el cine, la televisión, videojuegos y la industria de diseño, además permite la visualización de textura y la malla del modelado. *MeshLab* es libre y el software de código abierto, es un programa avanzado en 3D, que permite pasar de nubes de puntos a mallas texturadas. *Blender* y *Irrlicht* son *software* de código abierto y capaces de crear y visualizar modelos 3D texturizados. *Blender* es una suite de creación de contenido 3D de código abierto y *Irrlicht* es un motor 3D en tiempo real de código abierto.

El resultado obtenido mediante estas operaciones ha sido un modelo tridimensional que contiene el registro integral de la información gráfica. Además recoge la información física del estado actual del edificio permitiendo saber cuál era su situación, forma y estructura en ese determinado momento.

Del modelo digital se han extraído los alzados mediante ortofotografía y la planta de cubiertas del estado actual de la iglesia para su representación gráfica (fig. 60 y 61). Las ortofotografías son imágenes de las fachadas generadas a partir del modelo de la malla texturizada, de forma similar al de una fotografía pero en vez de utilizar la perspectiva cónica, se usa la perspectiva paralela, por lo que sobre éstas es posible realizar mediciones además de aportar información sobre las texturas reales del objeto.



Figura 59. Modelo tridimensional texturizado. Fuente: elaboración propia.

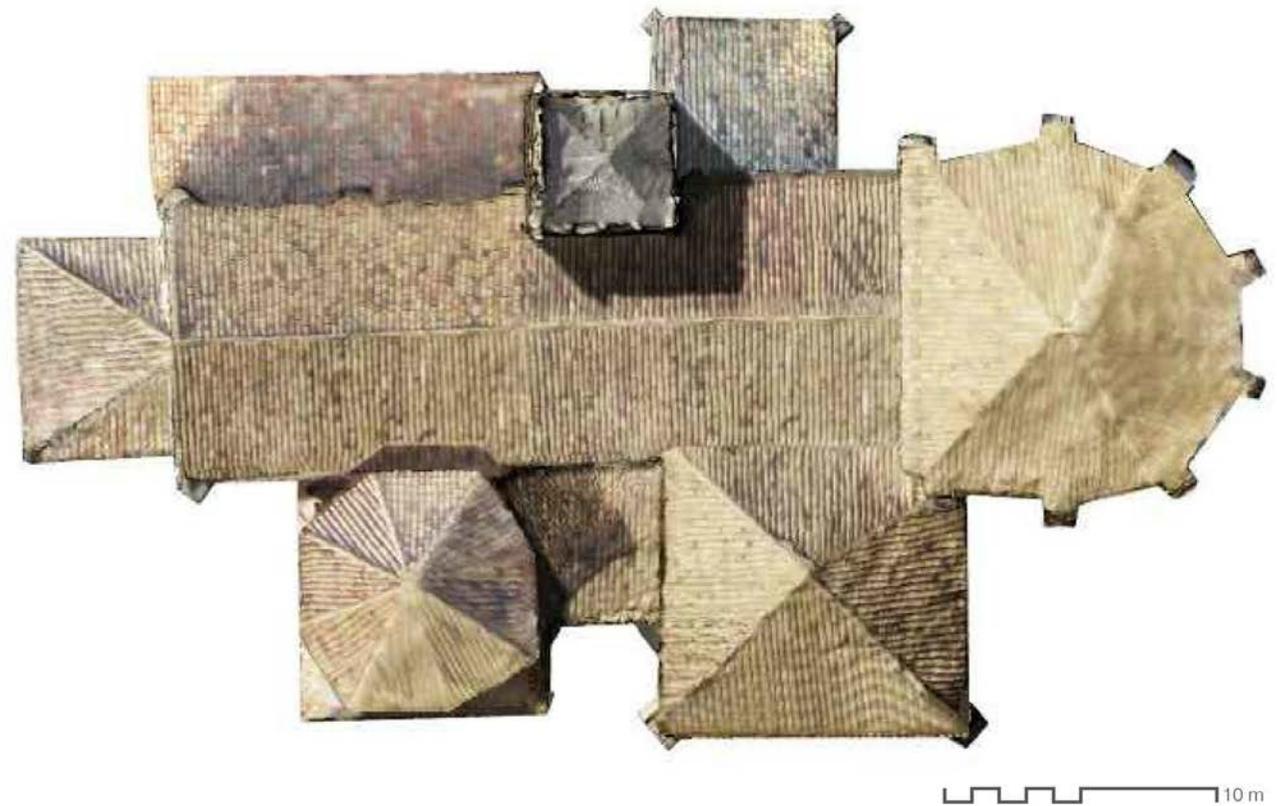


Figura 60. Planta de cubiertas. Fuente: elaboración propia.



Figura 61. Alzados mediante ortofotografía. Fuente: elaboración propia.

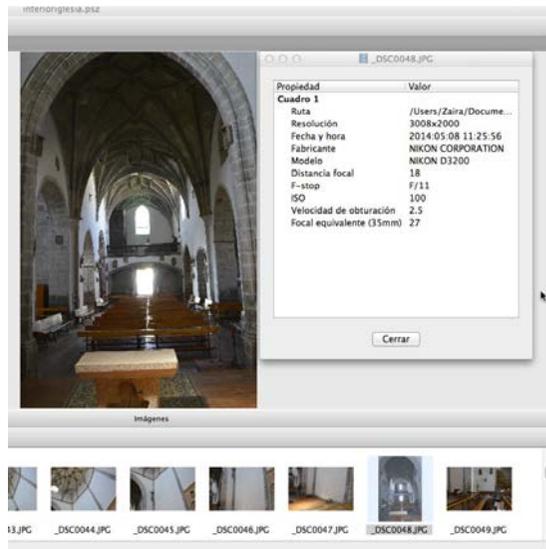


Figura 62. Información de los parámetros EXIF de la fotografía. Fuente: elaboración propia.

En resumen, en este caso de estudio se ha optado por la fotogrametría terrestre y aérea, cuya combinación se hace necesaria para el levantamiento arquitectónico de cualquier edificación sea cual sea el fin. Conseguir el levantamiento global del edificio a bajo coste ha sido nuestro objetivo y para ello hemos sido conscientes de que el uso del *drone* requiere tiempo de vuelo y tomárselo como algo profesional. Saber desde el primer momento que el *drone* no es el objetivo del proceso, pero si uno de los medios para la obtención de la complejidad de los datos.

Hasta ahora, todos los trabajos realizados con fotogrametría realizados, tenían como objetivo el exterior del edificio. En este caso, se decidió representar también el interior, y se centró el estudio en la nave central. El proceso llevado a cabo fue similar al del levantamiento del exterior.

La primera fase, la toma fotográfica se realizó sin iluminación artificial, con la misma cámara digital Profesional "Nikon D3200" y trípode. Los parámetros para la toma fueron similares a los utilizados en el levantamiento del exterior. El tamaño de salida medio, a JPEG, el balance de blancos automático, etc. como se muestra en la figura 62. La variación en este caso fue la velocidad de obturación. Al ser un interior poco iluminado por la escasez de carpinterías, provocó el uso de velocidades muy bajas para la adecuada exposición, variando ésta entre los cinco y dos y medio segundos. Por otro lado, se realizaron los estacionamientos a lo largo de la nave en longitudinal, con dos pasadas para capturar los dos alzados interiores. Al no disponer de mucha sección transversal y no poder alejarnos del objeto, se tuvo que recurrir a los pares verticales. En cada punto del estacionamiento, se tomaron tres pares verticales para capturar la totalidad de la nave.

En la fase del procesamiento, sólo se utilizó un grupo de trabajo con 133 fotografías. En este caso, se procesó en primer lugar la orientación para la creación de la nube de puntos discreta y posteriormente la nube de puntos densa, llegando hasta 27 millones de puntos, porque se disponía de la última versión de *Photoscan*. Para la creación de la malla, se utilizó la nube de puntos densa con la opción de crear un millón de puntos y la aplicación de la textura con el tamaño de texturas 4096x2. El resultado fue una malla compuesta por casi dos millones de puntos y casi un millón de caras como se aprecia en la captura de pantalla de la interfaz del programa (fig. 63).

La malla tiene errores sobre todo en la zona del ábside. Esto se debe a la diferencia de iluminación entre fotografías utilizadas en los pares por la iluminación procedente de la ventana colocada en la parte superior del ábside.

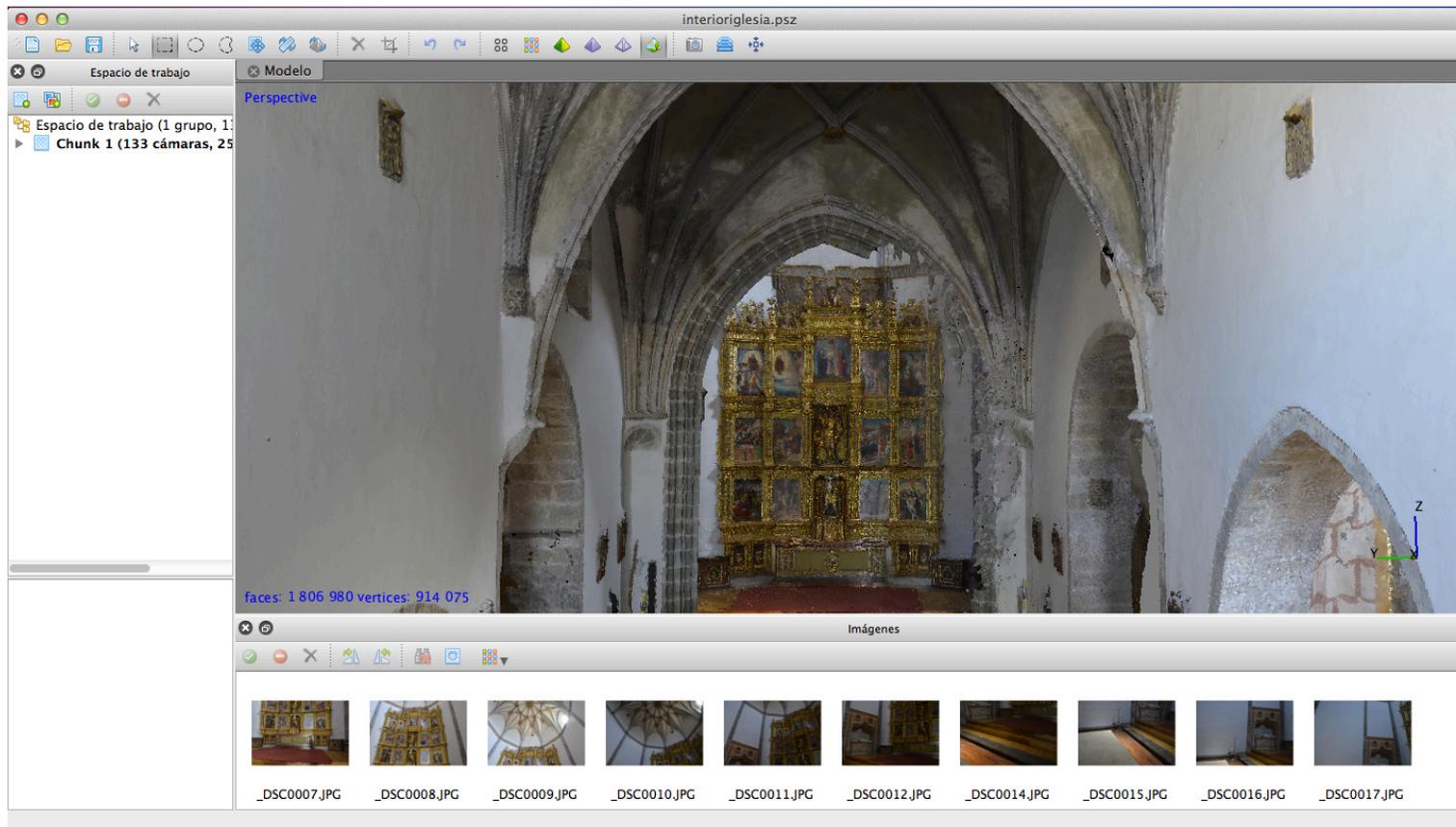


Figura 63. Captura de pantalla de la interfaz de *Photoscan* con la restitución del interior de la iglesia. Fuente: elaboración propia.

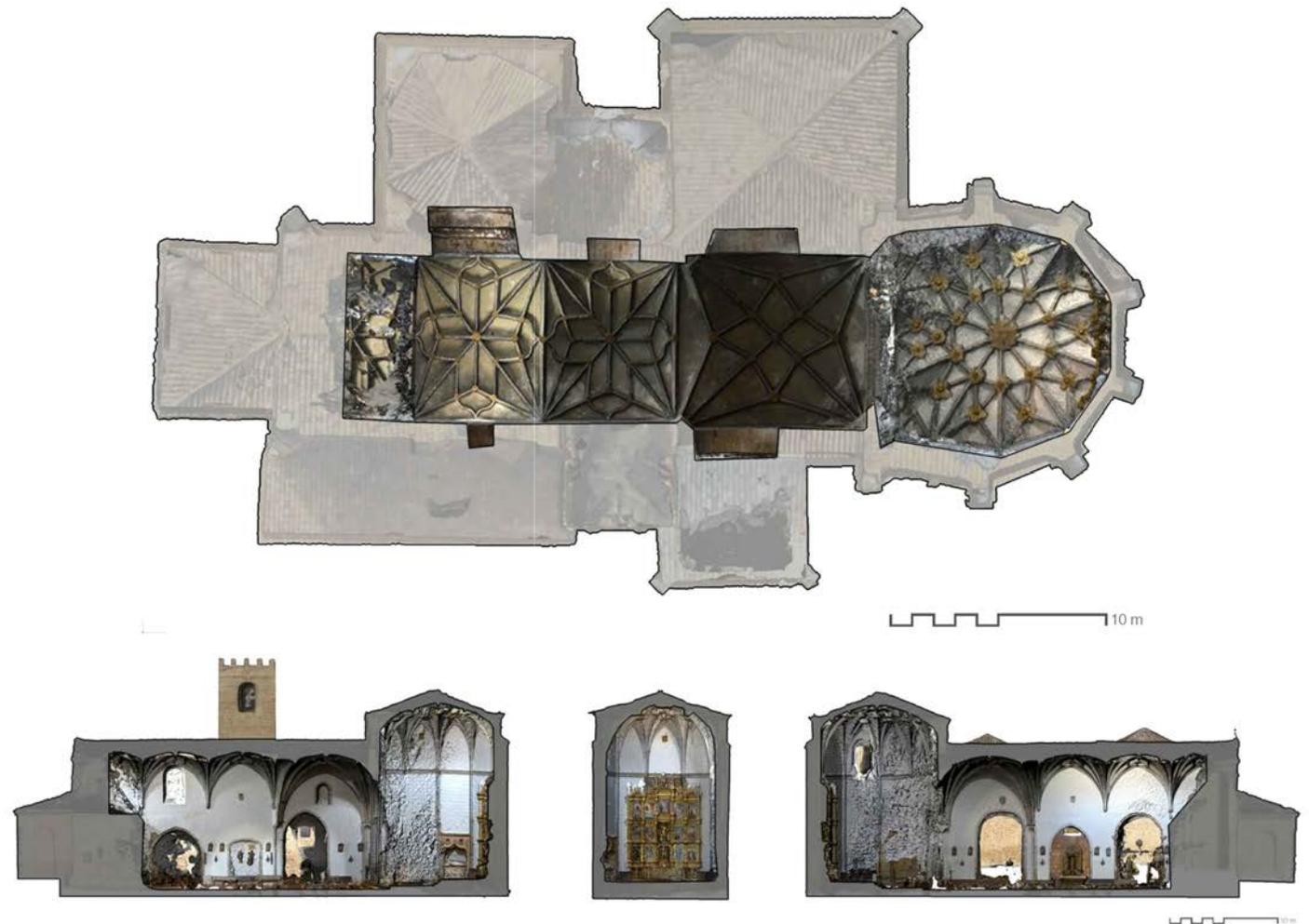


Figura 64. Planta cenital, secciones longitudinales y transversal de la nave principal. Fuente: elaboración propia.

Una vez generado el modelo del interior, en el archivo previo de *Rhinoceros* del exterior se ha insertado la malla del interior, se ha dado una escala y orientado respecto a la malla del exterior. Finalmente se han obtenido la planta de cubiertas cenital, la sección longitudinal desde los dos puntos de vista y una sección transversal del ábside. Se ha creado una máscara blanca para dejar entrever la parte posterior de la malla del exterior y comprender la volumetría del edificio (fig. 64).

En resumen, el levantamiento arquitectónico a través de la fotogrametría facilita la lectura fiel del edificio en un tiempo relativamente corto. La realización de este trabajo ha tenido una duración de un día para la toma fotográfica y aérea y el trabajo en gabinete del procesado de datos y la generación del modelo y documentación ha sido de 14 horas. Por lo que aparte de considerarse de bajo costo económico, también en cuestión de tiempo para adquirir unos resultados notables.

7.7.3. LÁSER ESCANER

La última de las técnicas de captura de datos a estudiar es el láser escáner. Es un instrumento de medida capaz de proporcionar a los usuarios una mejor información espacial de la arquitectura en un período relativamente corto de tiempo. Las nubes de puntos coloreadas producidas por el escáner láser se pueden utilizar para dar una impresión realista de un monumento o edificio, también para que los usuarios puedan navegar de forma interactiva en torno a él y observarlo desde distintos ángulos y posiciones deseadas. La técnica del láser proporciona una gran eficacia en la recolección de datos especialmente útiles en lugares inalcanzables, ya que da datos de nubes de puntos complejas y de detalle en cuestión de minutos (Chee et al. 2010).

El proceso de escaneo y su posterior procesado de un edificio patrimonial es bastante similar al que se hace con la fotogrametría. El primer paso corresponde a la planificación de las tomas de escaneo y la ubicación del posicionamiento del láser con respecto a cada toma y al objeto, asegurando que entre cada uno de ellos hay una zona de superposición para unir los escaneos. Además, dependiendo de la escala y de la distancia a la que esté situado el objeto, dependerá el tipo de láser a utilizar. Según el elemento arquitectónico también variará la densidad de los puntos. Además se pueden realizar escaneos generales a una densidad y otros de partes más específicas con una densidad mayor, pudiéndose escanear entre 2 y 5 cm cada punto en elementos arquitectónicos con poca ornamentación o de 5mm a 2cm los que ya tienen mucha ornamentación (Docci y Maestri 2010).

En cada estacionamiento, escanea el elemento con una serie de pulsos de láser sobresaliendo de su centro afectando a las partes visibles del objeto con respecto al punto de estación, como si de una proyección cónica se tratase, quedando ocultos partes posteriores de objetos como cornisas, balcones o del mobiliario urbano.

Los escaneos individuales son posteriormente unidos entre sí y orientados en el espacio, por ello es necesario identificar en el objeto, un número de puntos de apoyo identificables en el escaneo a través de la colocación de dianas o referencias naturales, de

las que se han tomado las coordenadas mediante una estación total. Como ocurre en la fotogrametría, puntos de control tomados para escalar el modelo y para orientar en el espacio respecto a la vertical y a la horizontal.

La arquitectura se compone por lo general de superficies, desde las más simples hasta las más complejas. La nube de puntos, un conjunto de puntos de conocidas coordenadas, que aunque sean muchos, no pueden sustituir a las superficies, pero si tiene que ser capaz de representarla. De modo, que hay que convertir la nube de puntos en superficies.

La salida de las nubes de puntos del escáner lo hacen en formato genérico, como pts, .asc, .dxf, .ptx, .xyz, .stl entre otros. Antes de convertir a superficies, el primer paso es el tratamiento de los puntos, optimizando la información y eliminando zonas de ruido o innecesarias para aligerar el archivo. Una vez revisada y optimizada la información, se generan desde los puntos, superficies de malla poligonal por triangulación, llamadas *mesh*. Son mallas a partir de triangulación, triángulos que están formados por los vectores que unen puntos por interpolación de las coordenadas de los puntos más próximos. Las superficies de malla o *mesh* son muy pesadas para poder trabajar con ellas debido a la cantidad de información que se almacena ya que cada triángulo es un objeto.

Es interesante hacer un estudio de las superficies, identificando y conociendo la geometría de la arquitectura estudiada para convertir las mallas a formas geométricas más sencillas como primitivas: prismas, conos, esferas...o superficies más complejas como NURBS (*Non Uniform Rational B-Splines*), cuya geometría está basada en operaciones matemáticas de funciones polinómicas, o también se puede reducir la densidad de la triangulación, manteniendo la misma forma del objeto.

El siguiente aspecto importante es la colocación del mapeado de texturas. Cuando se utiliza una malla poligonal, la textura se crea utilizando la información RGB que lleva cada punto que forman los vértices del triángulo. Para aplicar la textura al polígono se realiza una interpolación de color de cada uno de los puntos que conforman ese triángulo, obteniéndose una mancha de color en cada triángulo. En cambio, cuando la superficie se simplifica a superficies más simples o NURBS, el procedimiento para aplicar la textura es diferente, se aplica el mapeado de la textura de la fotografía que se ha obtenido desde el mismo punto de vista, encajándose para cada superficie. Posteriormente, con el software adecuado, se obtiene la imagen foto-realista o infografía del edificio objeto de estudio, como por ejemplo con el programa *Rhinoceros* y el plugin foto-realista *V-ray* indicando las condiciones de entorno e iluminación exterior. Otra forma de aplicación de textura, es la utilización de programas de fotogrametría. Se veía que la textura era aplicada según era tomada la fotografía desde cada punto de vista, por medio de una orientación y rectificación de la fotografía para adaptarla a la geometría del modelo, es lo que comúnmente se llama atlas, es la imagen desplegada en horizontal de todos los pedazos que conforman la textura. De esta forma, la malla que se ha obtenido de la nube de puntos, se introduce en el programa y desde los distintos puntos de vista, se le aplican las fotografías rectificadas. La incorporación de la textura a los modelos tridimensionales no sólo mejora su aspecto estético sino que le da información cualitativa al modelo.

No sólo el láser aporta información de tipo geométrica, sino también otra que se puede definir de tipo espectral, en cuanto tiene vinculada la longitud de onda. De hecho, el rayo reflejado tendrá siempre una intensidad menor respecto de aquello sobre lo que incide, a causa de las características geométricas y de las características de reflexión de la superficie donde influyen la naturaleza del material, el tratamiento superficial y la morfología de la degradación. En definitiva, los puntos obtenidos por el escáner, tienen cuatro dimensiones, tres cartesianas y la cuarta cuantifica la reflectancia de la superficie respecto a la longitud de onda en la que trabaja el escáner (el Faro Focus 3D trabaja a 785nm). Esta cuarta dimensión puede servir para obtener información sobre los materiales que conforman el edificio y sus patologías (Santopuoli y Seccia 2008). *Cuestiones como la precisión métrica o los errores inherentes al instrumental son del todo pertinentes, porque pueden afectar de un modo crítico a la definición de la secuencia cronotipológica relativa* (García-Gómez, Fernández de Gorostiza y Mesanza 2011).

7.7.3.1. CASO DE ESTUDIO: LA IGLESIA DE SAN MIGUEL

En este estudio se demuestra el uso práctico del láser escáner 3D aplicado a la documentación del patrimonio del mismo caso utilizado en fotogrametría, la iglesia de San Miguel. Las fases del trabajo consisten en, la primera es la captura de datos de la iglesia. La segunda, en la edición de los puntos obtenidos, y diversas operaciones de filtrado de puntos, registro, orientación y coloreado de las tomas de datos. Y la tercera y última fase, es la generación la documentación gráfica, plantas, alzados ortográficos y vistas a partir del modelo de puntos, del mallado y texturizado.

El sistema de escáner láser terrestre utilizado para este proyecto es de diferencia de fase, en concreto el Faro Focus 3D S120 del Laboratorio de Fotogrametría de Valladolid (fig. 65). La iluminación del objeto es indispensable para adquirir un buen modelo y por tanto unas buenas ortofotografías o los productos necesarios que impliquen estas propiedades, por lo que se puede apoyar con fotografías con una cámara profesional sobre el mismo escaneo. Por ello, sobre el mismo trípode se montó la cámara digital Nikon D700 para capturar imágenes de alta resolución del modelo geométrico para añadir a los escaneos del interior.

Este estudio evalúa la capacidad del sistema de escáner láser terrestre para la captura de alta densidad detallada de datos geométricos del patrimonio, para su confrontación con la fotogrametría. Asimismo, los objetivos son adquirir un modelo tridimensional de la iglesia de San Miguel, tanto del interior como del exterior, con una precisión en cm, incluso llegando al mm, donde se detallan los procedimientos seguidos para alcanzarlo, evaluando los medios utilizados, el logro adquirido y el coste invertido. A partir del modelo tridimensional se podrán obtener los distintos productos gráficos derivados, así como también su utilización en diversos campos de aplicación sobre el patrimonio como la gestión, conservación y difusión.

El Faro Focus 3D S120 es un escáner que posee un alcance entre 0,6 y 120 metros, con una velocidad de medición hasta 976.000 puntos/segundo. Trabaja en el infrarrojo cercano con una longitud de onda de 785nm y un error de rango de ± 2 mm. Tiene un área



Figura 65. Trabajo de campo con el Faro Focus 3D- Fuente: Faro del Laboratorio de Fotogrametría de Valladolid.

de escaneo horizontal de 360° y en vertical de 305°. Además complementa el escaneo con la toma de fotografías utilizando una cámara integrada de 70 megapíxeles que permite relacionar cada punto medido del láser con el color del pixel correspondiente de la fotografía de referencia.

Anterior a la toma de datos, se estableció una planificación previa del trabajo según la finalidad de éste y por tanto la elección de la resolución. De esta forma, se realizaron en un día con un total de 29 escaneos de 360° tanto del interior como del exterior. El escaneo interior se compone de 16 tomas y el exterior de 13. El escaneo del interior se realizó con 7 escaneos en la nave central, 2 en el pórtico de entrada, 1 en el coro y 6 escaneos en las capillas laterales.

En la elección de las tomas se ha intentado crear solapes entre varios escaneos para posteriormente poder montar la escena y evitar dejar zonas de sombra. A pesar de ello, el Faro puede producir errores en la medición, sobre todo en aristas porque puede cometer distintos retornos si golpea a dos planos, también se pueden producir por el ángulo de incidencia o por el color de los materiales, cuanto más oscuros, peor reflejan la señal. Los escaneos del exterior simplemente rodean al edificio porque es un monumento aislado y dispone de buena espacialidad a su alrededor. El paramento más cercano está situado a 5 metros de la fachada del edificio. Las zonas que se han quedado sin definir han sido, parte de la torre y las cubiertas. No fue posible captar estos datos debido a no existen edificios más altos a su alrededor desde los que poder realizar las tomas y tampoco se dispuso de una plataforma móvil para realizar el escaneo para estos puntos inaccesibles.

Por consiguiente, la adquisición de datos ocupó un día entero de trabajo, cada escaneo tenía una duración aproximada de diez minutos. Los parámetros asignados a los escaneos han sido los siguientes. Las tomas se han realizado a 360° porque la información adicional ayuda a referenciar las tomas entre sí. El eje Z (vertical) se ha nivelado correctamente en todas las tomas para evitar rotaciones del eje Z en la colocación de los escaneos. La resolución elegida fue de 1/4, es decir, un punto cada 6 mm a una distancia de 10 metros. Una vez finalizado el escaneo, produce un fichero con extensión *.fls que contiene la nube de puntos, su posición tridimensional, reflectancia y por otro lado, las imágenes en color realizadas por el escáner.

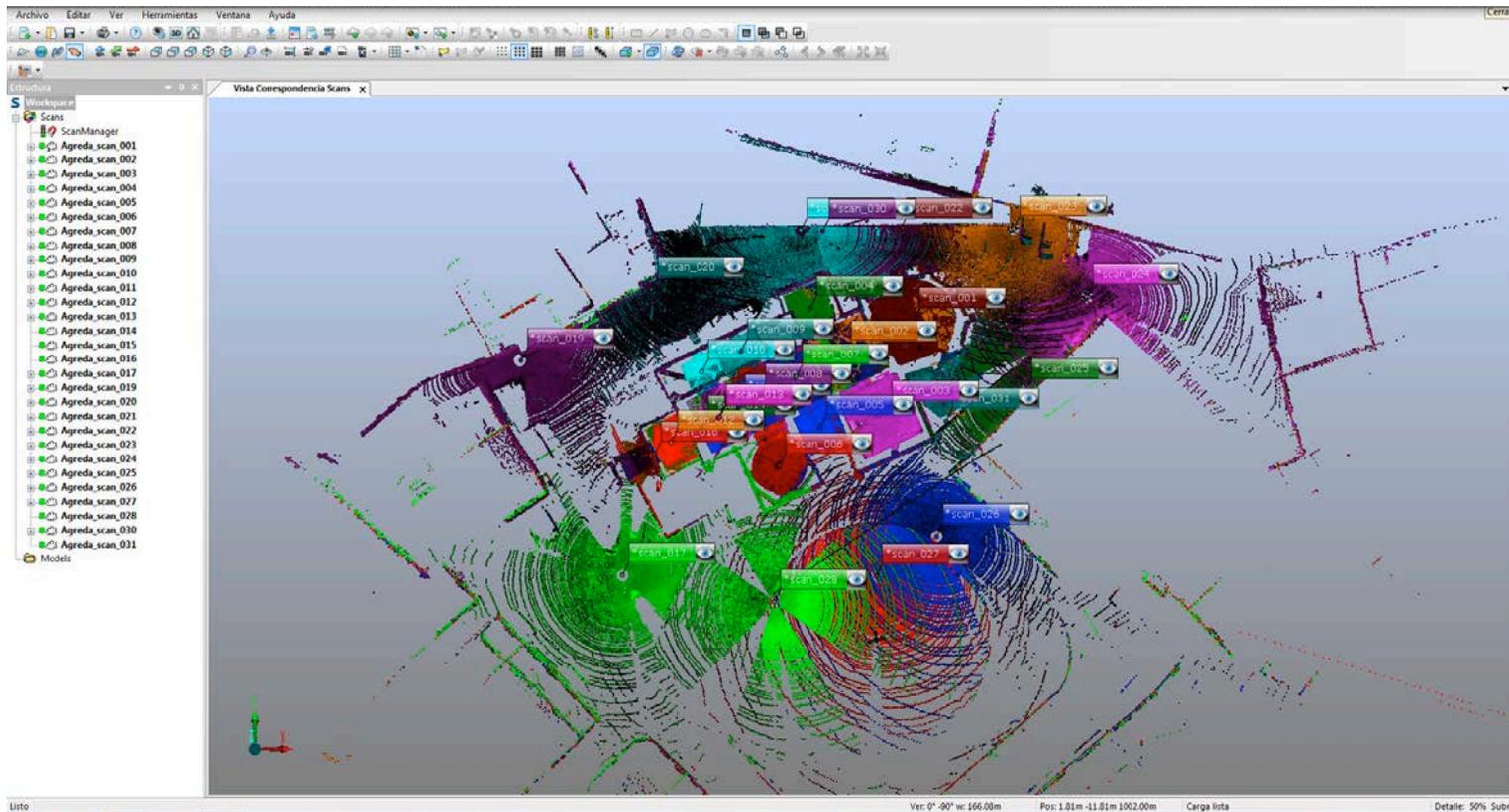


Figura 66. Vista correspondencia en planta de las tomas del interior y del exterior de la iglesia. Fuente: elaboración propia.

La fase de la edición de los puntos obtenidos se ha realizado con el propio programa del escáner, llamado *Scene 5.2*. Es un *software* especialmente diseñado para trabajar con los archivos de FARO. Su funcionamiento es asequible a cualquier usuario porque dispone de funciones automáticas para realizar las operaciones necesarias para montar una escena completa (fig. 66).

El trabajo realizado sobre el *Scene* ha consistido en los siguientes pasos. En primer lugar la creación de un espacio nuevo de trabajo (*.fws). Este espacio de trabajo contiene los datos necesarios para procesar y trabajar con la nube de puntos. Aquí es

donde se han importado los 29 escaneos. Para poder visualizarlos, previamente se han cargado. Los modos de visualización que permite el programa de cada toma, son la vista rápida (desde el punto de vista del escaneo) y planar (proyección cilíndrica equidistante, en esta vista se puede medir) de la nube de puntos (fig. 67), y por otro lado, se puede ver la escena global mediante la vista 3D.

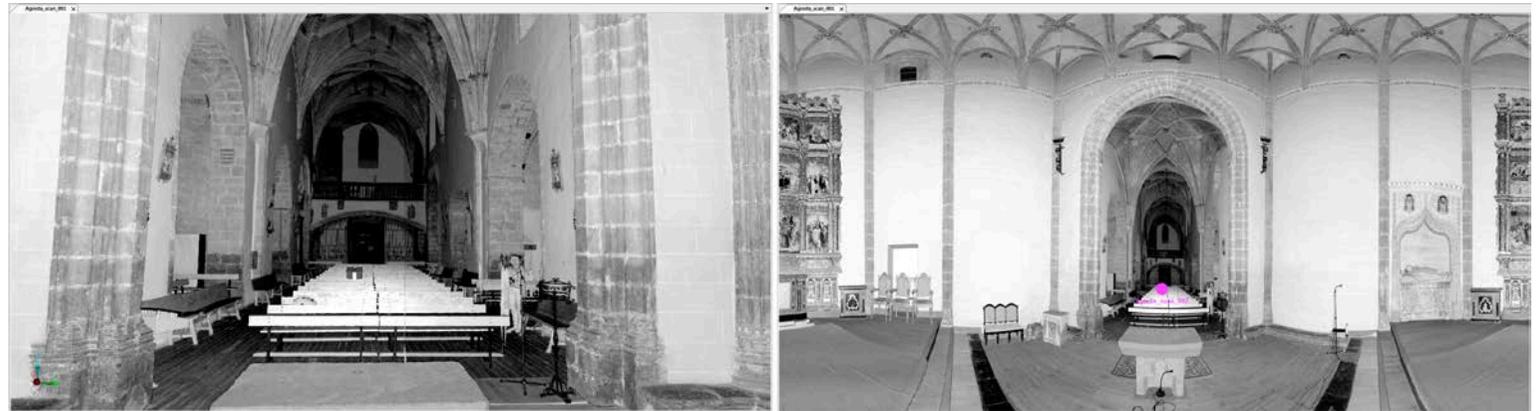


Figura 67. Vista rápida y planar (proyección cilíndrica equidistante) del escaneo del ábside. Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, las operaciones realizadas sobre la nube de puntos, ha sido una de ellas, la de filtrar puntos de escaneo dispersos. Esta operación sirve para eliminar puntos reflejados en el aire y puntos erróneos. Se ha utilizado además el filtro de suavizado para eliminar irregularidades.

El siguiente paso ha sido aplicar imágenes a las nubes de puntos. Primeramente se ha ejecutado de forma automática, porque el programa cuenta con la orientación de cada imagen y como debe proyectar capa pixel sobre cada punto de la nube. En los escaneos del exterior se ha realizado únicamente de esta forma porque las condiciones de iluminación eran adecuadas. En el interior de la iglesia estas condiciones eran peores, por lo que las imágenes tomadas por el escáner, en la mayoría de los casos no eran buenas. Por ello, en cada estacionamiento del interior, se colocó la cámara digital Nikon D700 con gran angular y se realizaron fotografías a 360°. Estas fotografías se han unido con el programa comercial *PanoramaStudio 2 Pro* que permite la creación de panoramas esféricos 360°x180° y han proporcionado una imagen de proyección cilíndrica equidistante del espacio fotografiado (fig. 68). La proyección cilíndrica equidistante o proyección cilíndrica directa, también conocida como proyección equirectangular mantiene invariable la escala sobre los meridianos. Es una proyección que consiste en una retícula de paralelos horizontales y meridianos verticales y se realiza dividiendo un paralelo base cerca del centro del área cartografiada en partes reales.



Figura 68. Fotografía con proyección cilíndrica equidistante desde el segundo escaneo de la nave central de la iglesia. Fuente: elaboración propia.

Para la colocación de estas imágenes desde la cámara digital profesional, se exportó la imagen panorámica que crea el escáner. Se introdujeron ambas en *Photoshop* para hacer coincidir el inicio y el final de ambas fotografías. Por último, se ha introducido en cada fichero reemplazando el originario. El resultado fue notable, debido a que varios escaneos habían salido oscuros o con baja iluminación en la mayoría de los casos.

Seguidamente se ha creado el registro de los escaneos. Originariamente, cada escaneo dispone de un sistema de coordenadas relativo. Quiere decir que cuando se introducen en el programa, ocupan el mismo origen. Por tanto el georreferenciado de los escaneos se ha definido tomando el primero de los escaneos como referencia para los demás (fig. 69).

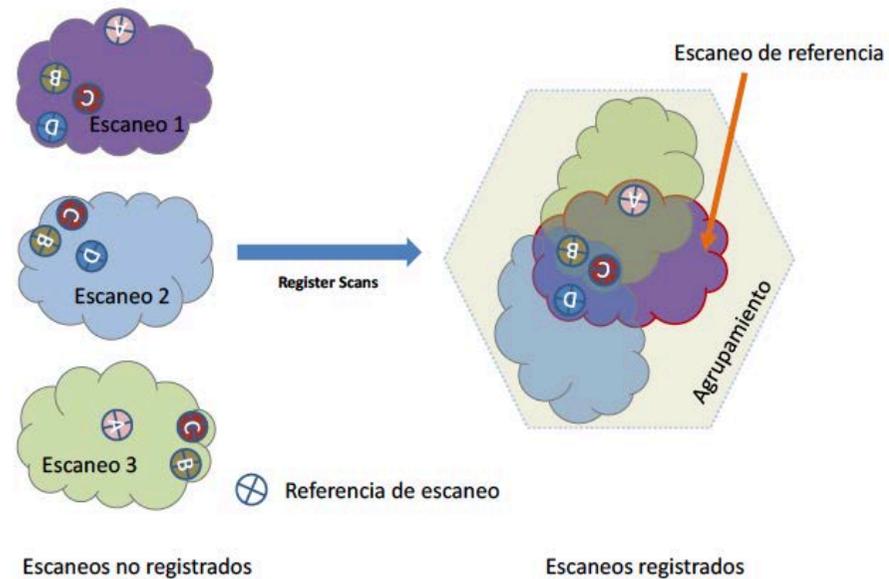


Figura 69. Registro de escaneos sin referencias externas. Fuente: Manual *Scene 5.2*.

En particular, no se han usado elementos de referencia como esferas o dianas, únicamente se han empleado marcas naturales. Para ello, se han identificado referencias comunes que permiten encajar unas nubes de puntos con otras, en este caso han sido planos de referencia en cada una de las vistas, tanto planos verticales como horizontales (fig. 70). De esta forma, en cada escaneo el programa ha tenido que calcular los parámetros de transformación, 3 traslaciones y 3 rotaciones para conseguir un modelo único, o más bien, sólo una traslación porque el eje Z se ha mantenido nivelado en todo momento. Asimismo se efectuaron escaneos de menor resolución en las jambas de las dos puertas del pórtico para que hubiera puntos de referencia en la unión del interior con el exterior.

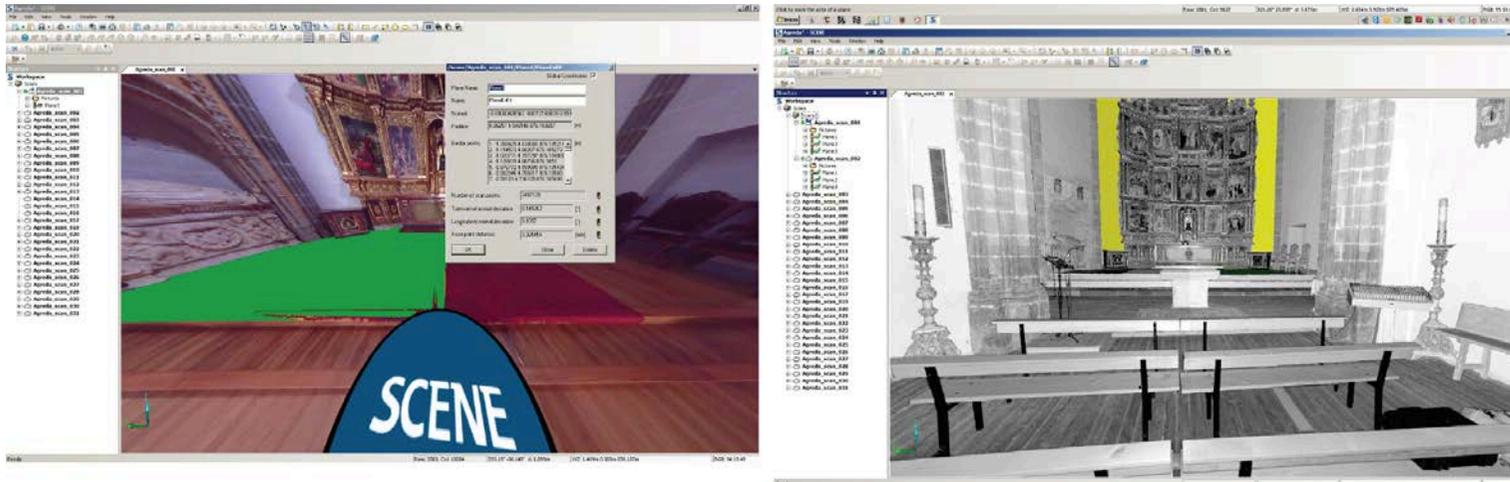


Figura 70. Elección de planos horizontales y verticales para la georreferenciación de los escaneos. Fuente: elaboración propia.

Una vez orientados todos los escaneos, el resultado obtenido es un modelo tridimensional de la nube de puntos de la iglesia a excepción de los puntos inaccesibles (fig. 71). A continuación se ha procedido a eliminar todos los puntos del entorno para exportar solo el modelo del edificio. Para realizar esta operación hubo que ampliar la memoria RAM al portátil hasta 16Gb y el disco duro a 1Tb de capacidad para almacenar cada escaneo debido al gran peso de cada uno. La primera operación de exportación fue de cada escaneo a la extensión *.wrl y con la densidad captada originaria. El peso de cada uno llegaba a los 3Gb y contaba con 15 millones de puntos. Por ello, se decidió en este caso exportar cada uno a la extensión *.ptx para después importarlos al programa *Pointools v8i* de Bentley con una densidad menor, debido a que todos los escaneos le resultaba al ordenador casi imposible abrirlos y trabajar con ellos. Esta vez, la densidad se redujo a 1/3 exportándose un punto de cada tres de una fila o columna, por lo que el archivo más pesado era de 200Mb. Así, la densidad pasó de ser un punto cada 6 mm a uno cada 18 mm.

Antes de pasar a la tercera fase, el trabajo realizado con el programa *Pointools* fue importar los archivos *.ptx, que automáticamente los convierte a *.pod. Una vez importados todos los del interior, se han eliminado aquellos puntos que se encontraban a una distancia mayor de 20 metros y que producían mala interpretación en la escena por proporcionar una gama cromática diferente o producir una distorsión (fig. 72). En definitiva, el modelo final ha sido una nube de puntos compuesta por 62 millones de puntos.

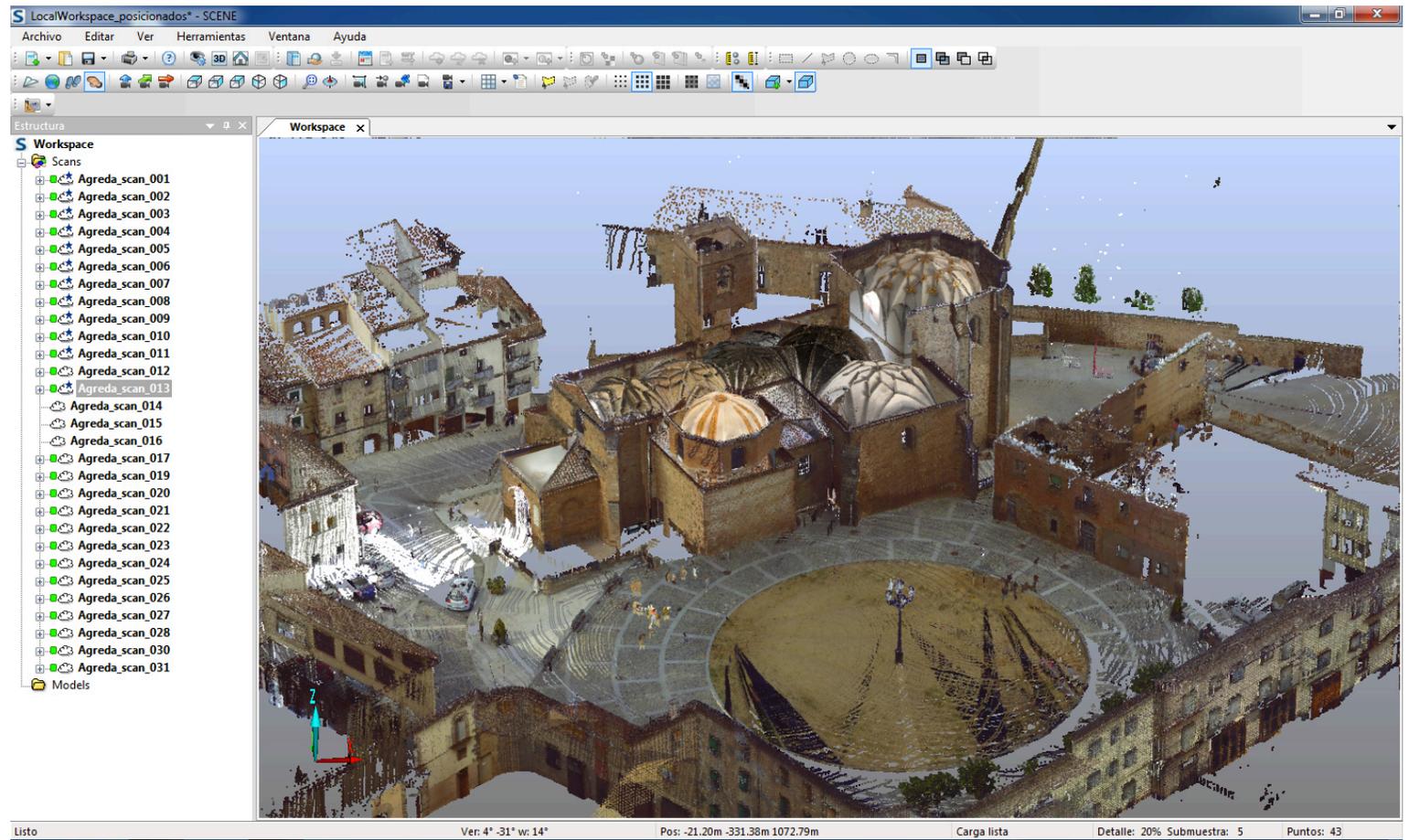


Figura 71. Vista 3D después de todas las operaciones realizadas en la fase de edición de datos. Fuente: elaboración propia.

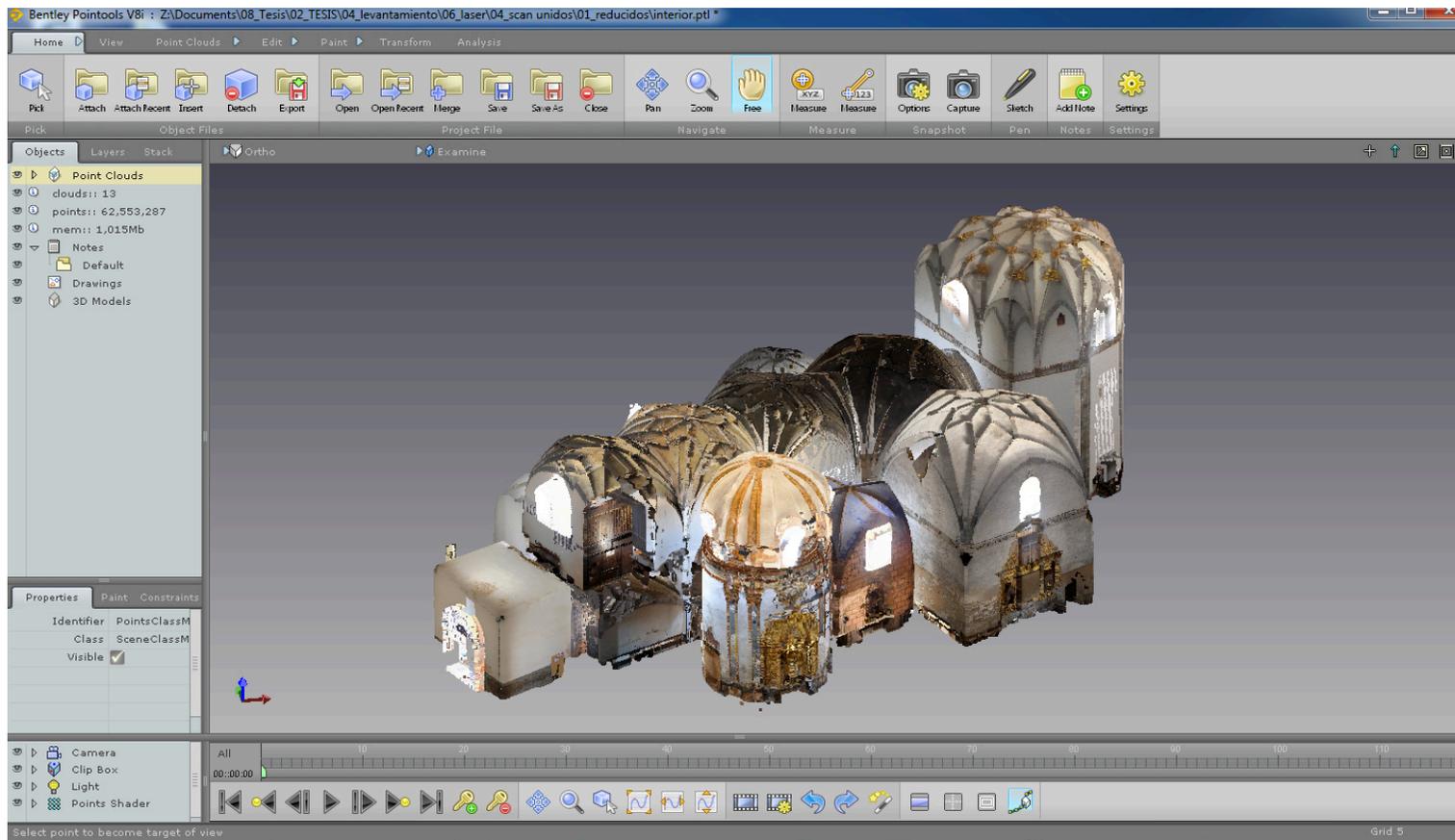


Figura 72. Visualización en *Pointools* del modelo de la nube de puntos del interior. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el producto obtenido por el escáner permite generar una disección sistemática del modelo de nube de puntos en perfiles de plantas, secciones y alzados, sin necesidad de delinearlos. Esto es debido a la densidad de la nube, al contener diversos puntos sobre el plano que secciona y los proyectados, producen una sección clara del objeto. El que los puntos se conviertan en líneas es cuestión de escala y del grosor de punto. A continuación se presentan plantas, alzados, secciones y vistas del modelo (fig. 73, 74, 75, 76 y 77).

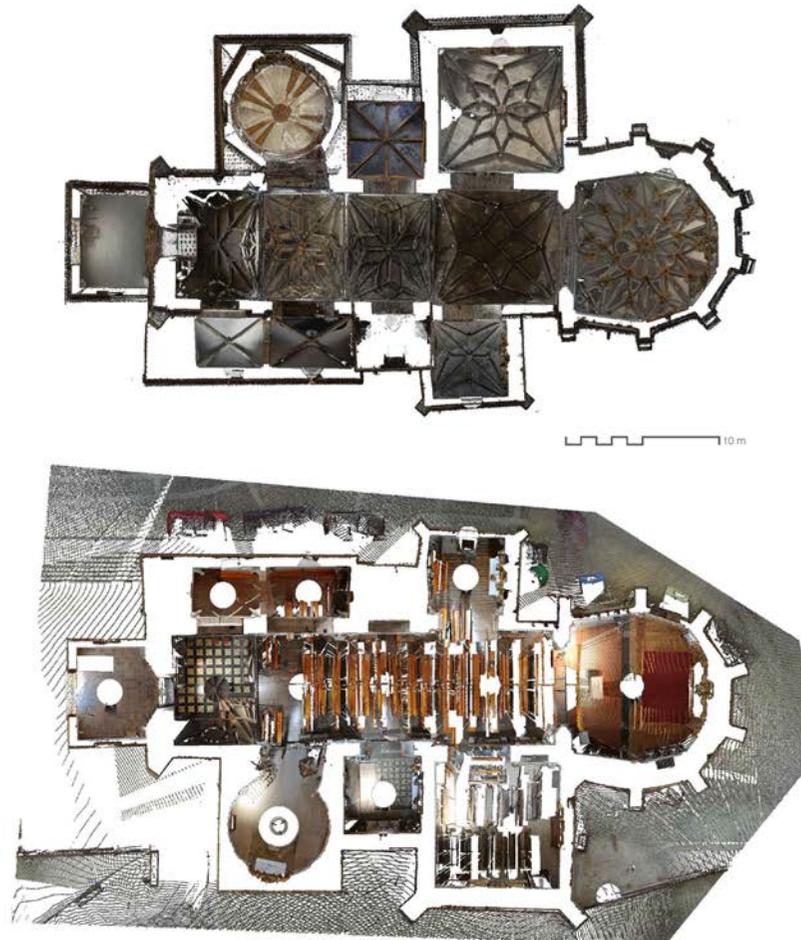


Figura 73. Planta y planta cenital de la iglesia. Fuente: elaboración propia.



Figura 74. Alzados ortográficos. Fuente: elaboración propia.



Figura 75. Secciones transversales y longitudinales. Fuente: elaboración propia.

La calidad visual de la ortofotografía, su aspecto, referidos a la textura del objeto representado, a la definición de los bordes de los elementos, etc., depende en gran medida de la fotografía de partida que hemos logrado con el escáner o cámara fotográfica y de la intensidad de la nube de puntos.



Figura 76. Sección longitudinal en perspectiva paralela. Fuente: elaboración propia.



Figura 77. Vista interior de la nube de puntos en anáglifo. Fuente: elaboración propia.

El error de medición máximo en el modelo ha sido de 1,9 cm en el lado más largo de la iglesia. Donde en parte se puede deber además a la precisión con que se han ajustado los escaneos.

El último paso seguido ha sido la generación del mallado del modelo de la iglesia. El proceso se ha llevado a cabo con el programa de modelado *Meshlab* (fig. 78). Este programa no permite la importación de los archivos generados por el programa *Pointools*, por lo que se ha decidido volver a utilizar los de la exportación del escáner en formato *.ptx y en este caso, sólo los referentes al exterior de la iglesia porque solo se ha utilizado el modelo del exterior para realizar una comparación con el obtenido mediante fotogrametría.

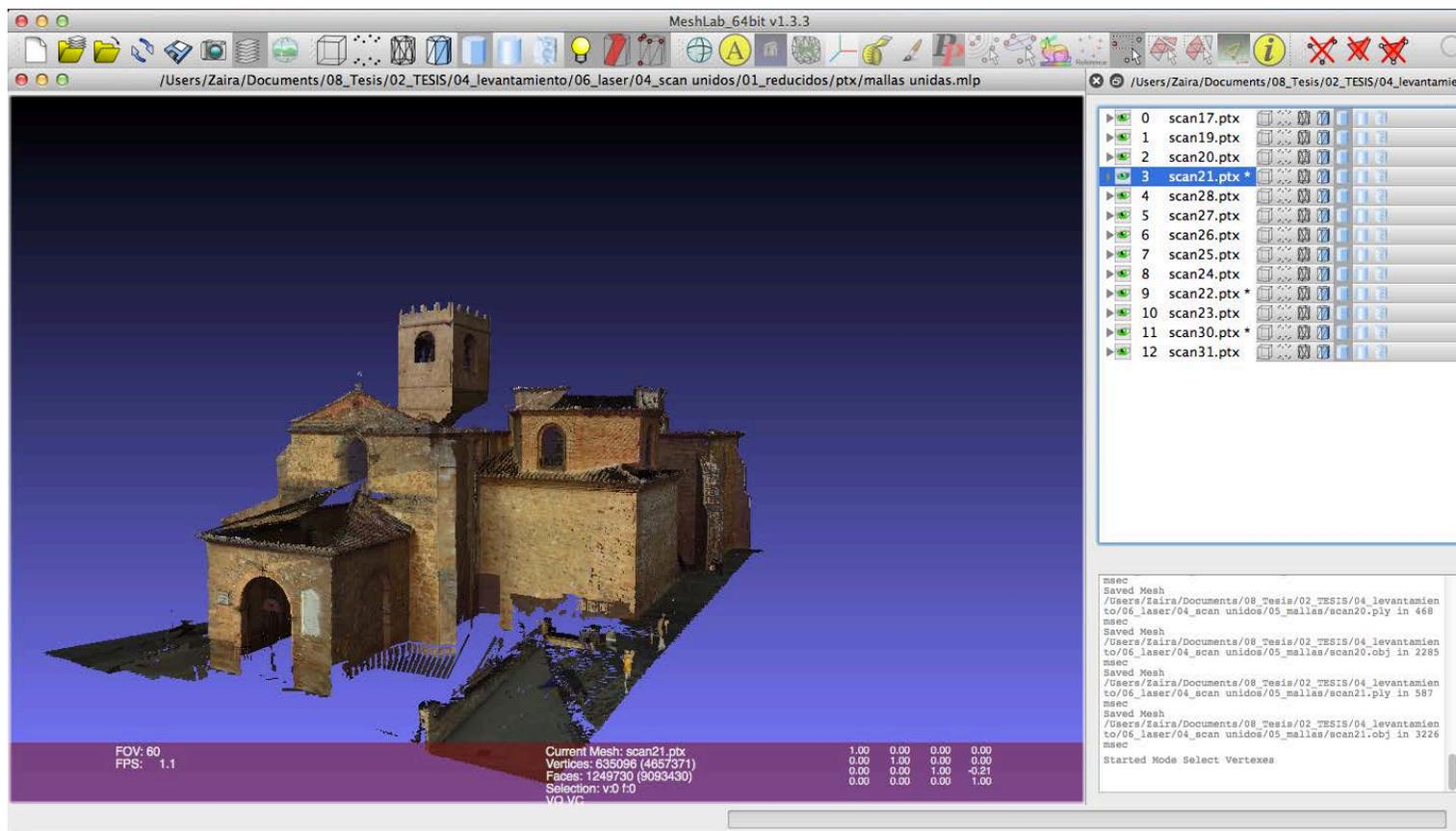


Figura 78. Visualización del modelo mallado en *Meshlab*. Fuente: elaboración propia.

Este proceso se ha intentado por varios métodos. El primero, mediante la unión de todos los escaneos en una capa para realizar el mallado de la nube de puntos. Al realizar esta operación, se generaba una sola capa con la nube de puntos, pero sufría una pérdida de color sin causa conocida. El segundo intento fue realizar sobre cada escaneo una triangulación con la posterior aplicación de la textura por la interpolación de los colores de los tres vértices. El problema fue que la triangulación se excedía de los bordes de la nube de puntos, por lo que la limpieza de la malla era muy costosa y la visualización de las distintas mallas no era muy refinada, por lo que se desechó. Y la última opción, fue que, a la hora de insertar cada una de las nubes de puntos, el programa crea una malla con la textura de forma automática. De esta forma, el resultado son 13 mallas con un total de 1.250.000 triángulos donde su visualización en conjunto proporciona el modelo global mallado de la iglesia.

Ninguno de los productos obtenidos se ha decidido delinear posteriormente para producir información vectorial ya que no es el objetivo del estudio. El objetivo es proporcionar información tridimensional a través de las diversas metodologías de captura de datos para aplicarlos a los campos más importantes relacionados con el patrimonio como son la gestión, conservación y difusión que utilizan el modelo tridimensional.

La valoración de los resultados obtenidos con la metodología del láser escáner ha sido positiva, y más en profundidad el análisis ha sido el siguiente.

En primer lugar, el modelo de la nube de puntos queda incompleto, sobre todo en la zona de cubiertas ante la imposibilidad de no haber dispuesto de una plataforma elevadora para hacer escaneos en altura o no disponer de edificios en altura en los alrededores de la iglesia. Pero el resultado conseguido con la nube de puntos, sobre todo en el interior, es muy uniforme y ha captado infinidad de detalles y texturas, siendo la calidad excepcional.

En segundo lugar, durante el proceso de captura de datos, hubiera mejorado la colocación de esferas en el escenario a la alineación de los escaneos, puesto que el georreferenciado de la totalidad de los escaneos supuso un trabajo muy laborioso con un total de 12 horas de trabajo. Este tipo de estudio, además requiere de grandes medios para llevarlo a cabo. En este caso, se han tenido que ampliar los componentes del portátil para poder manejar la nube de puntos reducida debido a la necesidad de mucha memoria para el almacenamiento y procesado de datos, pero aun así el resultado ha sido satisfactorio. Otra crítica es el coste del equipo, la compra no está al alcance de cualquiera aunque si el alquiler. Pero una ventaja es la rapidez de la toma de datos en campo.

En tercer lugar, la necesidad de utilizar más de un software para la elaboración de los distintos productos. En cuanto al modelo mallado de la iglesia se ha intentado realizar por varios métodos, el primero introducir en *Photoscan* la nube de puntos para crear la malla y la textura a partir de fotos, pero no era compatible. La segunda, desde el programa *Faro Scene*, en este caso, resultaba muy laborioso ir realizando paramento por paramento la malla a partir de la vista rápida, al no ser un procedimiento automático, se

desechó esta propuesta. Desde *Pointools* o *Rhinoceros* tampoco había posibilidad de realizar la malla, por lo que la única opción era desde *Meshlab*. Quizá el inconveniente del modelo desde este programa fuera, que se han quedado muchos huecos, que no es una única malla y el no introducir la textura desde fotografías, si no desde la interpolación del RGB de la nube de puntos.

7.8. CONCLUSIONES

Bien es sabido que el levantamiento arquitectónico en sí puede y debe considerarse como un método de investigación. Sus resultados ofrecen siempre un mejor conocimiento de nuestro patrimonio. La documentación gráfica a menudo representa los significados más apropiados y complejos del patrimonio cultural y su relación con el contexto. Para ello son necesarias un conjunto de operaciones y medidas de documentación del bien, para conocer sus características dimensionales y métricas (Almagro 2004a). De ahí que del levantamiento se obtenga un conocimiento técnico, preciso y fiable del estado actual, tanto morfológicamente como dimensionalmente, cuyo resultado sea un modelo tridimensional a través del cual se pueda analizar la obra, y realizar una lectura histórica, proyectual y constructiva del objeto de estudio.

En el año 2000 se celebró en el *Castell de Sant'Angelo* en Roma, un congreso sobre *Il Rilievo dei Beni Architettonici per la Conservazione*⁵⁶ en el que se disponía que:

Levantamiento son el conjunto de investigaciones y operaciones orientadas a determinar las características significativas, tanto morfológicas, dimensionales, figurativas y tecnológicas de un edificio, para evaluarlo e investigarlo con el propósito de construir un modelo tridimensional simplificado, a través del cual poder analizar la obra, facilitando así la interpretación de sus fases de transformación y de los diversos aspectos referidos a los temas más representativos. El levantamiento es, por tanto, un proceso que debe llevar al conocimiento profundo de la obra en estudio.

Como se ha visto a lo largo de este capítulo, se recomienda una serie de acciones antes de un levantamiento arquitectónico como una investigación histórica del monumento, sobre las fuentes indirectas como bibliografía y las fuentes directas donde entrarían las investigaciones elaboradas por técnicos anteriores, como planeamiento y documentación anterior. Realizar un estudio previo del edificio para tener una lectura completa del edificio y empezar a plantear una planificación previa de la metodología a utilizar.

⁵⁶ *Carta del rilievo*. Declaración sobre el levantamiento arquitectónico. *Castell Sant'Angelo*, 2000. [http://www.misionescoloniales.org/articulos/leyes_reglamentos_cartas/carta%20del%20rilievo%202000.pdf].

Con tal propósito el levantamiento está constituido, además de por las restituciones gráficas y otra documentación (fotográfica, de archivo, etc.), también por todas las operaciones que conducen al logro del resultado. Las actuales metodologías de levantamiento, como la fotogrametría o láser escáner, servidos de apoyos topográficos, han ayudado a la mejora del levantamiento tradicional. Cada uno de estos métodos da unos resultados útiles y significativos, y por ello se debe conocer el funcionamiento de cada metodología.

La fotogrametría, es un método basado en imágenes que facilita de forma sencilla y precisa la generación de un modelo digital de cualquier objeto, edificio o espacio que pueda ser fotografiado desde distintas posiciones. Permite el levantamiento a diferentes niveles y en toda la complejidad del objeto, es de fácil uso, requiere poco tiempo, bajo costo y las salidas son de alta calidad. Además, como se ha visto, permite la combinación de la fotogrametría terrestre con la aérea de bajo coste, para la obtención de los puntos inaccesibles, como las cubiertas y la torre, y de esta forma, conseguir el modelo tridimensional completo del bien patrimonial. Por otro lado, el escáner láser terrestre (TLS) utiliza sensores activos, no son tan versátiles como las cámaras digitales respecto a la captura de datos porque requieren más tiempo para escanear, aunque aún así se les sigue considerando rápidos (Apollonio et al. 2014). No cuenta con un coste aceptable ni un manejo sencillo, pero en cambio adquiere millones de puntos con gran precisión, exhaustividad y aportan información de alta calidad. Aunque a veces necesitan del apoyo fotográfico porque carecen de buena información sobre la textura del objeto. En este caso, no ha existido la posibilidad de acceder a inmuebles cercanos para realizar una captura de las cubiertas.

Para explicar ambas metodologías se ha escogido como caso de estudio la iglesia de San Miguel y en ambos, el resultado obtenido ha sido muy satisfactorio, consiguiendo un modelo tridimensional compuesto por una malla texturizada (fig. 79 y 80).



Figura 79. Vista perspectiva del modelo tridimensional realizado con láser escáner (izquierda) y con fotogrametría SfM (derecha). Fuente: elaboración propia.

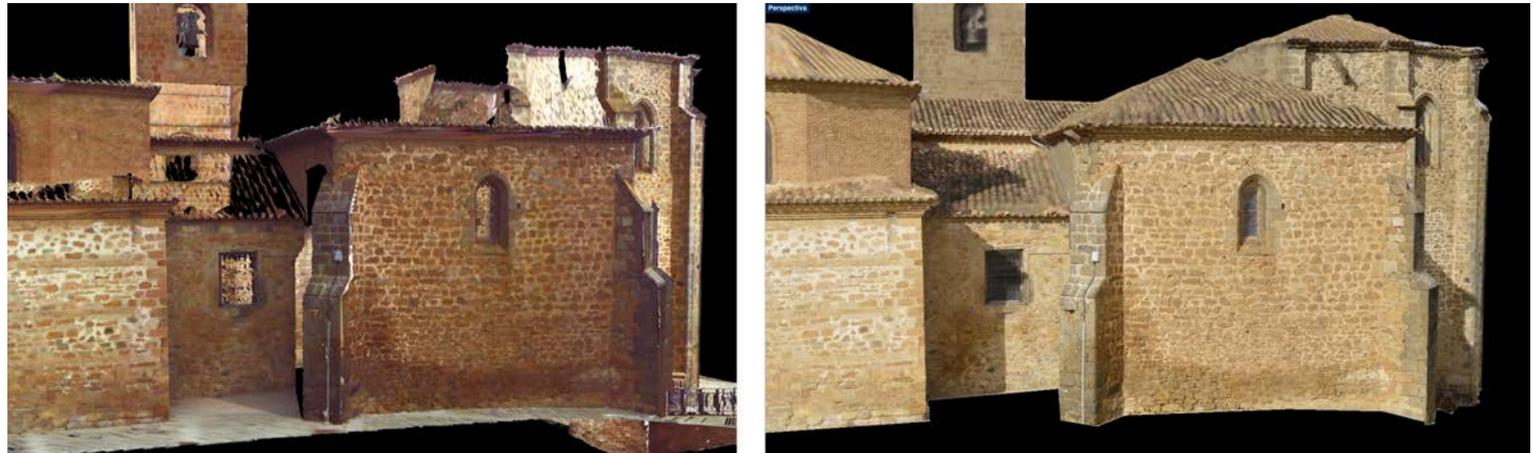


Figura 80. Detalle del modelo obtenido con láser escáner (izquierda) y con fotogrametría SfM (derecha). Fuente: elaboración propia.

Las mallas de los dos modelos tienen las siguientes características:

Faro Focus S120	→	4.657.371 puntos	→	9.093.430 triángulos
Photoscan	→	117.358 puntos	→	229.475 triángulos

La evaluación de los dos modelos demuestra que aunque el modelo es más denso con el láser escáner, la calidad de la textura no es tan buena como la obtenida mediante fotogrametría porque para ello se utilizó una cámara profesional y en el caso del escáner la propia cámara. En el caso de la fotogrametría, la aplicación de la textura fue por rectificación fotográfica según el punto de vista y en el del escáner por interpolación de los tres puntos del triángulo. En cambio en el interior, sí que se han introducido fotografías con una cámara profesional y el resultado es enormemente más favorable. La toma fotográfica de la fotogrametría se realizó un día por la mañana del mes de noviembre y el del escáner, un día de mayo por la tarde.

Por otro lado, la densidad de la nube de puntos elegida en el escáner era tres veces mayor de la que se muestra, pero se tuvo que reducir para poder trabajar con el ordenador. En cambio, con la fotogrametría, la resolución de la fotografía fue una resolución media de 5Mpixels y la densidad de la nube de puntos fue más bien baja para que el trabajo con el ordenador fuera normal y el resultado fuera bueno para el uso requerido como modelo tridimensional.

Con el fin de evaluar cuantitativamente el proceso, sobre el programa *Rhinoceros* se estableció una comparación entre los modelos mediante la superposición de ambos (fig. 81). La desviación final entre ellos resultó en el rango de ± 3 cm, situada esta diferencia en la zona de cornisas de ábside, que se puede establecer como la zona más alejada del escáner y del objetivo de la cámara. Porque el error de medición máximo de cada una de ellas es similar.



Figura 81. Superposición de los dos modelos en *Rhinoceros*. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la comparación en tiempo del proceso de obtención de cada modelo, estableciéndose en ocho horas el día de trabajo, muestran los siguientes resultados en la figura 82:

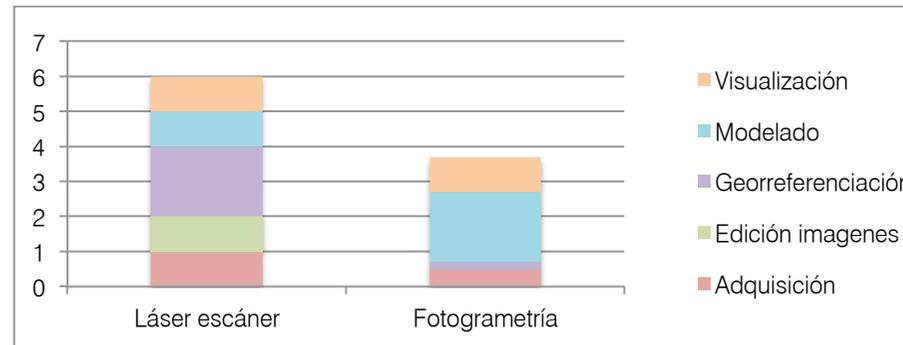


Figura 82. Tiempo de procesado expresado en días. Fuente: elaboración propia.

Un resumen de las ventajas e inconvenientes de cada una de las dos metodologías podrían ser las siguientes. Ventajas del escáner: gran libertad en la disposición de la toma de datos, un único punto de vista, volcado inmediato de la nube de puntos bruta, independiente de la textura. Inconvenientes: densidad de puntos muy elevada y más cuando se combinan varias nubes, tratamiento posterior: filtrado, coloreado y georreferenciado, utilización de diversos software para la generación de las ortofotografías y de malla del modelo tridimensional, aplicación de la textura y alto coste de adquisición.

Ventajas de la fotogrametría: densidad de puntos predefinida y adecuada a las necesidades del modelo, estimación de la precisión en cada punto, mejor resultado en escenas con textura, combinación terrestre y aérea, posibilidad de utilización varios tipos de cámaras y de bajo coste. Inconvenientes: requerimientos muy restrictivos en la toma de datos: iluminación, distancia al objeto, escala máxima de la imagen, disponibilidad de apoyo. Procesos de orientación para la obtención de la nube de puntos, depende de la textura para proceder correctamente, necesita dos o más imágenes.

En el futuro, el descenso del precio de adquisición de los equipos y la mejora del software informático permitirá una mayor explotación de los resultados en ambas metodologías implementada en mayores funciones.

Para finalizar el capítulo, se quiere mostrar la superposición de la planta obtenida mediante el láser escáner con la obtenida de forma tradicional en el proyecto del arquitecto García de León (2001). La principal diferencia se aprecia en el ábside donde las formas no son ortogonales y en otras zonas donde se han creído ortogonales y no lo eran (fig. 83).

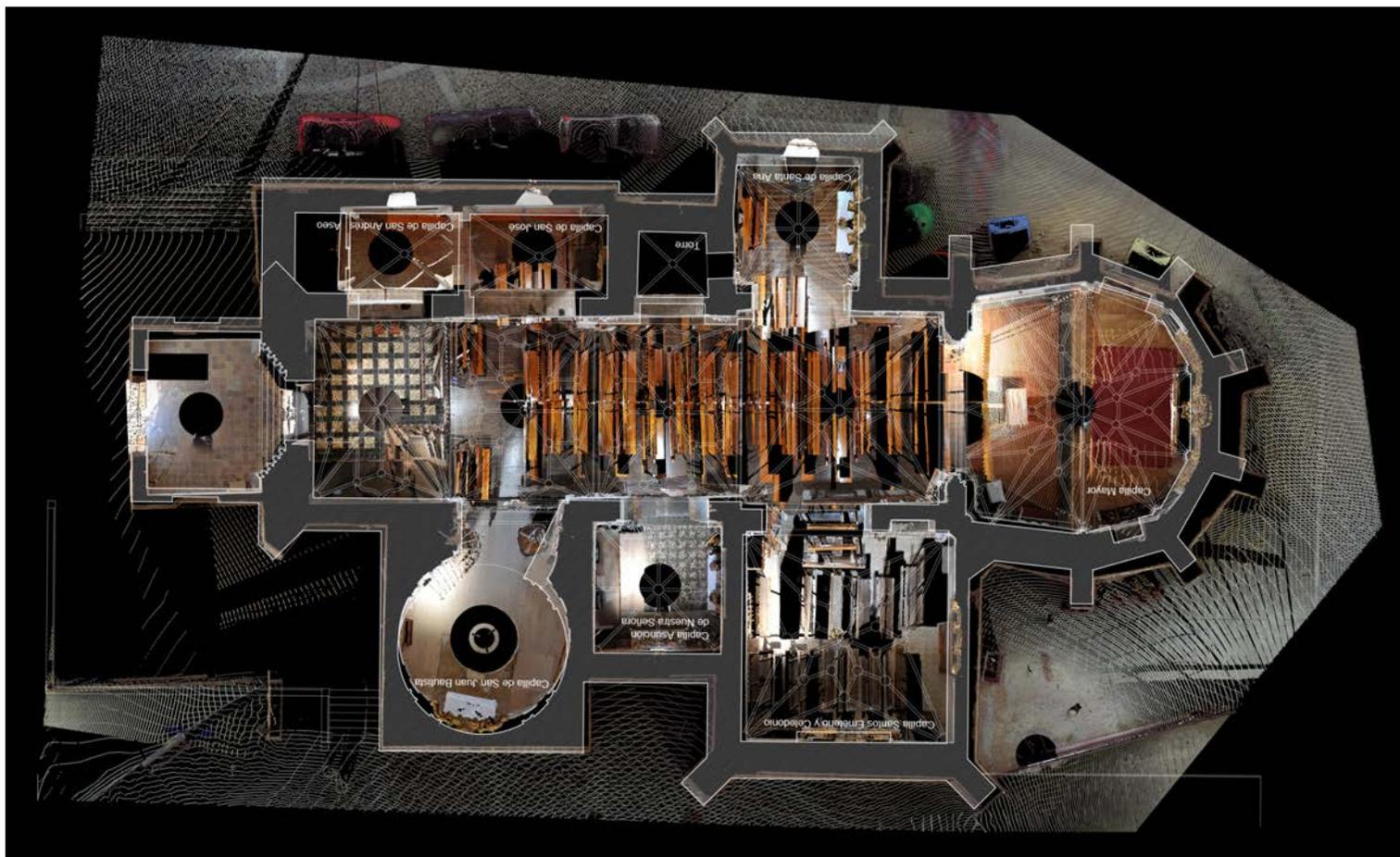


Figura 83. Superposición de plantas obtenidas con láser escáner y de forma tradicional. Fuente: elaboración propia.

8. GESTIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO 3D DE ÁGREDA MEDIANTE ESTÁNDARES ABIERTOS

8. GESTIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO 3D DE ÁGREDA MEDIANTE ESTÁNDARES ABIERTOS

El desarrollo del sector de las Tecnologías de la Información y Comunicación y de las políticas de modernización tecnológica ocupa hoy día un lugar destacado en nuestro país sobre todo en Administraciones Públicas. Las instituciones implicadas en la gestión del patrimonio cultural, responden a este interés mediante Sistemas de Información del Patrimonio Histórico capaces de cubrir la demanda de información, gestión, protección, conservación y difusión del patrimonio.

Actualmente hay Comunidades Autónomas en la línea del desarrollo de Sistemas de Información relacionados con la catalogación y gestión de su patrimonio basados en protocolos de gestión de sus bienes.

Aun así, las políticas de gestión y protección del patrimonio resultan complejas debido a la diversidad de ámbitos a los que se enfrentan, competencias administrativas, calificación y aspectos legales. En relación a las competencias, existen los siguientes niveles: estatal, autonómico o regional, y local. La principal ley estatal que regula el patrimonio es la Ley 16/1985 de Protección y Conservación del Patrimonio Histórico Español (LPHE), acompañada por el Real Decreto 111/1986. Con la LPHE, el Estado a través de las administraciones tiene el deber de proteger y conservar el patrimonio, garantizar el acceso, uso y disfrute al ciudadano. Actualmente, la Constitución Española establece que las competencias sobre Patrimonio Monumental de Interés corresponden a las Comunidades Autónomas (art. 148). De esta manera, cada región regula legislativamente la protección del Patrimonio Histórico, siguiendo el modelo de categorías de la LPHE, aunque con diferencias. Cada una tiene potestad para crear un registro de inscripción de Bienes de Interés Cultural y la obligación de catalogar el patrimonio situado en su territorio. Es por tanto necesario armonizar estas fuentes de datos mejorando la interoperabilidad para avanzar en una gestión eficaz del patrimonio histórico. Una manera de conseguirlo puede ser a través de los estándares abiertos.

El uso de dichos estándares ofrece la oportunidad además de incluir información espacial, por ejemplo a través de un modelo tridimensional que actualmente no se relaciona con el resto de la información catalogada. Estos modelos tridimensionales generados a partir de levantamientos fotogramétricos, con escáner láser o bien a través proyectos de rehabilitación y consolidación, jugarían un papel importante.

Este capítulo presenta una propuesta basada en estándares abiertos, para la generación y posible difusión y acceso público de datos patrimoniales a partir de modelos 3D. Se propone la utilización del estándar OGC CityGML debido a que combina información espacial, en este caso la geometría del modelo tridimensional, con la información propia de un monumento histórico arquitectónico, en un único modelo de datos. En concreto se va a utilizar el caso de estudio del Torreón de la Muela y la iglesia de San Miguel.

A grandes rasgos, la exposición del presente apartado consta de la siguiente estructura. En primer lugar, se realiza una pequeña exposición acerca de la historia y el estado del arte de los sistemas de información en el ámbito del patrimonio y las entidades que los gestionan. En segundo lugar, se introduce la Directiva INSPIRE, el estándar abierto CityGML y la utilización de información geográfica. A continuación, se plantea un modelo de datos basado en información tridimensional y se ilustra el proceso de obtención y generación de información a partir del modelo elaborado a través del proyecto de rehabilitación del Torreón de la Muela y de la iglesia de San Miguel. En último lugar, se analizan las posibilidades y aplicaciones que ofrece el modelo planteado.

El alcance del presente trabajo consiste en la exposición de una solución tecnológica planteada hasta un nivel muy específico, con el objetivo de ofrecer una perspectiva que pueda servir como alternativa a profesionales del sector e instituciones interesados en este ámbito a la hora de realizar valoraciones o cubrir posibles necesidades.

8.1. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN EL ÁMBITO PATRIMONIAL

Como se ha visto en el capítulo 2.4, actualmente las comunidades autónomas y en concreto la de Castilla y León disponen de un sistema de información en el ámbito patrimonial, como un repositorio único, que engloba a otras bases sectoriales como INVENMUEBLE, Divisa 7, YACI, Atrio y BICU.

De esta forma, los objetivos de este sistema es integrar toda la información sobre el patrimonio cultural producida por la Administración en un único sistema. Permitir un conocimiento profundo y comparativo del estado actual de los bienes culturales del territorio de Castilla y León. Agilizar la gestión tanto de dicha información como de los bienes culturales a los que se refiere. Promover la colaboración entre las diferentes administraciones e instituciones implicadas en la tutela del patrimonio. Facilitar el accesos de los ciudadanos a la información. Y por último, difundir el valor de nuestro patrimonio cultural.

Se puede considerar a este sistema como una base de datos común, accesible y en permanente actualización, en la que la información está integrada e interrelacionada. Todos los usuarios de este sistema integrado de gestión del Patrimonio Cultural pueden acceder y trabajar con la misma información sea cual sea su localización geográfica (Servicios Centrales o Servicios Territoriales).

Como se vio anteriormente, este Sistema de Información Integral de Gestión del Patrimonio Cultural de Castilla y León llamado PACU en el que se gestionan todos los bienes de interés cultural y aquellos con algún tipo de interés histórico y cultural, cuenta con una ficha identificativa y descriptiva, con autorizaciones, declaraciones de Bien de Interés Cultural e intervenciones realizadas al

bien. Una de las mejoras que ha ido introduciendo es que además de incorporar los datos descriptivos como localización territorial, tipología, atribución crono temporal, incluye los procedimientos y trámites administrativos como la propiedad, agentes que intervienen y tipos de actuación, integrando la información de carácter texto, imágenes y georreferenciada la información para asegurar la gestión integral del patrimonio histórico de la Comunidad (Fernández, García y Ramos 2008). No sólo permitía vincular información relativa a imágenes y textos, sino también, hojas de datos, planos y otros, no previéndose la incorporación de archivos caracterizados como modelos tridimensionales, a no ser que se considerasen con el formato de “otros”.

8.2. LA DIRECTIVA INSPIRE Y LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Desde el año 2007, las comunidades autónomas se encuentran también en proceso de implementación de la Directiva Europea INSPIRE⁵⁷, que generalmente ha conllevado el desarrollo de sistemas de información en este caso, espaciales y de temática medioambiental. Debido a la consideración “lugares protegidos” del Anexo I de la Directiva y por considerar al Patrimonio Histórico como parte de la información medioambiental según la Ley 27/2006, algunas comunidades autónomas han incluido información de patrimonio en el conjunto de datos, principalmente con la geolocalización en un mapa como objetivo, y una pequeña representación de información catalográfica opcionalmente (Díaz 2010). Desde los años 90, se ha producido una estandarización de la información geográfica, con normas, especificaciones y recomendaciones, como las del Comité Técnico ISO/TC 211 de la *International Organization for Standardization* (ISO) y del *Open Geospatial Consortium*⁵⁸ (OGC), junto con el *World Wide Web Consortium* para los servicios de mapas y descarga de datos (Pizarro et al. 2008).

A través de la geolocalización es posible conectar los bienes patrimoniales con los procesos que tienen lugar en el territorio, proporcionando nuevos métodos para el análisis del patrimonio cultural. Las conclusiones del análisis territorial son fundamentales a la hora de planificar y gestionar las acciones públicas en materia de patrimonio cultural.

La geolocalización consiste únicamente en la georreferenciación a través de un punto mediante coordenadas (latitud, longitud). Esta práctica comenzó en el ámbito del patrimonio en los visores cartográficos de yacimientos arqueológicos. Esta información espacial es muy limitada puesto que no incluye ningún tipo de información morfológica del elemento, solamente es posible indicar

⁵⁷ La Directiva INSPIRE (*INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe*) 2007/2 ha sido desarrollada con el propósito de hacer disponible información geográfica relevante, concertada y de calidad de forma que se permita la formulación, implementación, monitorización y evaluación de las políticas de impacto o de dimensión territorial de la Unión Europea.

⁵⁸ El *Open Geospatial Consortium* (OGC) es una organización internacional sin ánimo de lucro creada en el año 1994 y que agrupa a 372 organizaciones privadas y públicas, cuyo principal objetivo es la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la *World Wide Web*. Las especificaciones más importantes surgidas del OGC son: GML, KML, WFS, WMS, WCS, CSW.

la tipología a través de un icono. La posibilidad de integrar un modelo espacial en tres dimensiones aportaría además información geométrica necesaria para la toma de decisiones en la protección del patrimonio arquitectónico.

En la actualidad, la documentación de patrimonio arquitectónico utiliza técnicas y herramientas de modelado tridimensional. Por un lado, los modelos se elaboran para conocer e informar el estado actual de un edificio patrimonial, debido a que aportan consideraciones sobre los procesos de transformación del bien en el tiempo. Por otro lado, un modelo del estado previo es el punto de partida para el inicio de un proyecto de consolidación, rehabilitación o restauración. Estos otros aportan consideraciones sobre la interpretación realizada, cuyo objeto es evitar pérdidas de información del bien intervenido (Angulo 2012). De esta forma, un bien en continua actualización de la información podría tener varios modelos.

Dichos modelos tridimensionales estarían enmarcados dentro de los datos temáticos dispuestos en el Anexo III de la Directiva INSPIRE como “edificaciones”. La Directiva recomienda la utilización de los estándares OGC existentes para la representación de edificios en tres dimensiones. CityGML es uno de los estándares creados para tal fin (Velasco, Olivares y Groeger 2010).

8.3. MODELOS DE DATOS BASADOS EN ESTÁNDARES ABIERTOS

A pesar de que los sistemas con información espacial, en este caso geolocalización, utilizan servicios basados en estándares como el Web Map Service⁵⁹ (WMS) de OGC para su difusión y acceso público, dicha información es la única fuente de información normalizada disponible y se trata única y básicamente de imágenes para un visor cartográfico.

El requerimiento de modelos de datos basados en estándares y el desarrollo de un lenguaje internacional para la gestión del Patrimonio Cultural ha sido una respuesta de las organizaciones e instituciones internacionales encargadas de la conservación, gestión y puesta en valor de los bienes de Interés Cultural. Lo consideran un requerimiento para ayudar a los países a mejorar el conocimiento y la gestión eficaz del patrimonio histórico, además de ayudar a los países en el desarrollo de sistemas de registro y protección del patrimonio histórico, facilitando la comunicación entre los responsables nacionales e internacionales en esa labor (Muñoz 2007).

⁵⁹ El servicio *Web Map Service* (WMS) definido por el OGC (*Open Geospatial Consortium*) produce mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica. Este estándar internacional define un "mapa" como una representación de la información geográfica en forma de un archivo de imagen digital conveniente para la exhibición en una pantalla de ordenador.

En este capítulo se realiza una propuesta para un modelo de datos basado en la utilización de los estándares abiertos de información espacial. Por un lado, permiten incorporar la información correspondiente al levantamiento tridimensional mencionado y relacionarla con la información temática de la catalogación arquitectónica y por otro, la creación de servicios de difusión y acceso público normalizado de la información.

Se propone la elección del formato de datos CityGML (estándar OGC) como base para el modelo. Esta propuesta está basada en las líneas establecidas por la directiva INSPIRE para el caso medioambiental en cierta medida relacionado como se ha visto anteriormente y en sintonía con la propuesta del Anexo III de la Directiva.

Este formato mantiene y complementa las necesidades de información a nivel de gestión y proporciona interoperabilidad a la documentación del patrimonio cultural. Permite presentar la información espacial de los bienes patrimoniales de forma individual y conjunta. Proporciona además representación para información documental de edificios históricos, particularidades del patrimonio construido y de sus procesos de investigación e intervención. Se ha decidido realizar esta investigación porque la generación de un modelo de datos espacial mediante estándares abiertos juega un papel importante en la toma de decisiones de un gestor del patrimonio.

8.4. CityGML

CityGML se define como un formato abierto, basado en XML para la definición, representación, almacenamiento e intercambio de datos virtuales 3D de una ciudad, sus edificios e infraestructuras (OGC 2012). Es un estándar internacional del *Open Geospatial Consortium* (OGC) y la ISO TC211, desarrollado conjuntamente por el *Special Interest Group 3D* (SIG3D) de la iniciativa *Geodata Infrastructure Germany* (GDI-DE) y el OGC. Se basa en una serie de normas de la familia ISO 191xx, el *Open Geospatial Consortium*, el *W3C Consortium* (W3C 2008), el *Web 3D Consortium* y OASIS (Gröger et al. 2008).

Este formato se utiliza para describir datos de la cartografía urbana mediante el estándar GML⁶⁰, basado en el modelo ISO 19107, para la representación de geometrías 3D.

⁶⁰ GML (Geography Markup Language), es un sublenguaje de XML descrito como una gramática en *XML Schema* para la definición, representación, almacenamiento e intercambio de información geográfica, como son los Sistemas de Información Geográfica. Fue desarrollado por *Open Geospatial Consortium* y a partir de la serie de documentos ISO 19100. GML no contiene información específica sobre cómo se debe hacer la visualización de los datos representados. Para ello se utilizan estilos que se relacionan a GML y se describen en otros sublenguajes de XML.

CityGML propone un rico modelo de información tanto para la geometría tridimensional compleja de las entidades como para información específica de temática urbana. Este modelo permite no solo la definición coherente y homogénea de las propiedades geométricas, si no también de las propiedades topológicas de los objetos espaciales dentro de los modelos de ciudades 3D. El modelo consta de dos jerarquías: una referente a entidades del mundo real que se representan mediante características tales como envolventes, tabiquería interior, carpinterías, entre otras y otra referente a la geometría, donde los elementos más complejos se pueden descomponer en geometrías primitivas (Stadler y Kolbe 2007). El objetivo de CityGML es establecer una definición estandarizada de las entidades básicas, atributos, y relaciones de un modelo de ciudad en 3D, lo que permite la reutilización de la información en diferentes campos de aplicación (Gröger, Kolbe y Czerwinski 2006).

El modelo de CityGML consta de definiciones de los tipos más importantes de objetos 3D dentro de los modelos virtuales de ciudad, entre los que se incluyen edificios, terrenos, agua, transporte, vegetación y mobiliario urbano (Stadler y Kolbe 2007). CityGML es aplicable a áreas a nivel de ciudad, y edificios, en diferentes niveles de detalle de forma simultánea (OGC 2012). Para cada nivel de detalle, LoD (*Level of Detail*) hay una especificación adecuada a la generalización del nivel, a la tolerancia absoluta y a las clases temáticas incluidas.

El modelo multiescala cuenta con 5 niveles de detalle consecutivos, bien definidos en cuestión del detalle, por lo que permite el acercamiento a la comprensión espacial de las características geométricas (Costamagna y Spanó 2013; Kolbe, Nagel y Stadler 2009). Los niveles son los siguientes:

LOD0 – regional y paisaje, con una escala de representación de 1/10.000 o superior.

LOD1 – ciudad y región, con una escala de representación de 1/5.000.

LOD2 – distritos de la ciudad y proyectos, con una escala de representación de 1/1.000.

LOD3 – detalle exterior de los modelos arquitectónicos, con una escala de representación de 1/100.

LOD4 – detalle interior de los modelos arquitectónicos, con una escala de representación de 1/50 e inferior.

CityGML fusiona información procedente de CAD y GIS en un único modelo de datos, ya que incorpora información a nivel de ciudad y de edificio a nivel de detalle (Prieto et al. 2012). En un conjunto de datos CityGML, el mismo elemento puede ser representado en diferentes LoD simultáneamente, ya que permite su análisis y visualización con respecto a diferentes grados de resolución (fig. 84).

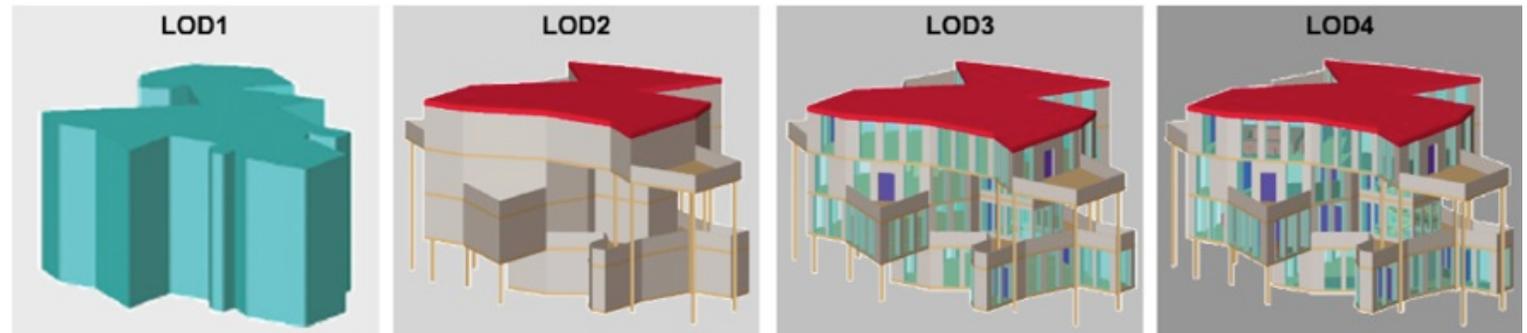


Figura 84. Modelado temático y geométrico de un edificio en LOD1, LOD2, LOD3 y LOD4. Fuente: Kolbe, Nager y Stadler (2009).

El formato también posibilita la inclusión de la apariencia foto-realista, mediante la aplicación de texturas. Está gestionado por el módulo específico “Apariencia”, útil para registrar por ejemplo, el aspecto y estado de conservación de un edificio.

El patrimonio arquitectónico se compone de una estructura compleja de relaciones entre la información geométrica y la temática. Las características morfológicas, funcionales y constructivas son las principales categorías para la comprensión arquitectónica. Estas características están representadas en CityGML en clases como, *_AbstractBuilding*, *_BoundarySurface*, *_Opening*, entre otras. Se trata de clases abstractas que contienen propiedades para atributos específicos de estructuras constructivas según el nivel de detalle al que pertenece el elemento. Entre los atributos disponibles en la clase abstracta *_AbstractBuilding* se encuentran la clasificación del edificio, usos previstos, valores permitidos, año de construcción, de demolición, tipo de cubierta, altura del edificio y número de plantas por encima y debajo del nivel del suelo. Esta superclase engloba otras como *Building* y *BuildingPart*. *Building* es adecuada para edificios compuestos por un elemento y *BuildingPart* para cada una de las partes cuando un edificio se encuentra estructurado en un nivel de mayor detalle. *_BoundarySurface* es la clase base abstracta extendida por varias clases temáticas que incluyen la envolvente exterior, como *RoofSurface*, *WallSurface*, *GroundSurface*, etc, donde se podría describir el sistema estructural del edificio, la tipología de la envolvente exterior, forjados, cubiertas, tabiquería interior, materiales utilizados. *_Opening* es la clase base abstracta utilizada para representar aberturas como puertas o ventanas, clases *Door* y *Window* respectivamente y describir el tipo de carpintería (OGC 2012).

Se puede considerar que CityGML provee un nivel muy avanzado para describir la trama urbana de una ciudad, y a un nivel más detallado (LoD4), para integrar partes de edificios, sin embargo no dispone de una especificación para edificios patrimoniales. Aún así, el formato es abierto y extensible, y por tanto es posible incluir esta información. Para ello, CityGML dispone de extensiones, llamadas *Application Domain Extensión* (ADE), que añaden información necesaria mediante la definición de atributos específicos

adicionales. En el caso que nos ocupa, se ha creado una extensión para proporcionar las características referentes a la catalogación del Patrimonio Cultural. El objetivo es vincular al modelo tridimensional, datos de una ficha catalográfica del patrimonio cultural. Se ha definido una ADE creando una nueva entidad denominada "Monumento", aplicada sobre el caso de estudio del Torreón de la Muela y de la iglesia de San Miguel.

8.5. PROCESO DE TRABAJO

A grandes rasgos, el proceso llevado a cabo en el presente trabajo ha sido el siguiente. En primer lugar, la generación o reutilización del modelo tridimensional a partir de un levantamiento (topográfico / fotogramétrico / escáner láser) o un proyecto. A partir de él, la propuesta de un modelo de datos basado en CityGML incorporando además la información propia del edificio y, mediante una extensión, la información de catalogación de patrimonio. Por último, la propuesta de una serie de componentes en el ámbito de la difusión y acceso público de la información, en base a este modelo.

8.5.1. LEVANTAMIENTO TRIDIMENSIONAL

El levantamiento arquitectónico del estado actual del patrimonio se puede obtener a partir de diversas técnicas, como fotogrametría y láser escáner, vistas en el apartado anterior. Son técnicas en auge debido a la precisión métrica del edificio con escaso error. Mediante estas técnicas se consigue generar una nube puntos del modelo, que sirve de base para la creación de una malla texturizada del modelo tridimensional. En este caso, la textura real del objeto es importante debido a que pone de relieve aspectos importantes a tener en cuenta como el estado de conservación de sus elementos, degradación y anomalías, como humedades y desprendimientos (Agustín et al. 2014). También se puede realizar un levantamiento a partir la toma de las coordenadas de puntos específicos con una estación total y la croquización in-situ de la morfología del edificio. El posterior delineado dará como resultado plantas, alzados y secciones bidimensionales en formato CAD. De esta forma, el modelado tridimensional se realiza a partir de los datos bidimensionales y para caracterizar el edificio, se puede incorporar la textura, mediante una fotografía rectificadas, eliminando la distorsión y la perspectiva, para la generación de ortofotografías.

El modelo de datos 3D presenta diferente definición dependiendo de la escala de actuación y del nivel de precisión de acuerdo al nivel de actuación en el edificio o al requerimiento del levantamiento arquitectónico.

En el caso que nos ocupa, se van a utilizar para describir la metodología el modelo del Torreón de la Muela y por comparación, el de la iglesia de San Miguel realizado con fotogrametría. Cuyos procesos de modelado se han descrito anteriormente.

8.5.2. MODELO DE DATOS BASADO EN CityGML

CityGML permite desde la elaboración de modelos universales a más concretos, dependiendo del campo de aplicación. Utilizando la característica *Application Domain Extension* (ADE) se pueden extender las clases de las entidades o *features* disponibles añadiendo las características necesarias. Este caso, al no cubrir el estándar las necesidades relativas a Patrimonio Histórico, se ha desarrollado una ADE llamada "*Monument*". Este "*Monument*" o Monumento extiende la clase edificio del estándar y se utiliza como superclase para englobar todos los edificios patrimoniales. La definición de los atributos considerados en esta ADE Monumento, se ha realizado en base a las especificaciones llevadas a cabo en el proyecto ADISPA⁶¹ (Prieto, Izkara y Egusquiza 2013) y por el *Core Data Index to Historic Buildings and Monuments of the Architectural Heritage*, basado en la información correspondiente a un monumento histórico. La selección de atributos incluye nombre, localización, tipo de protección, grado de protección, día de declaración del bien, referencia catastral, descripción, historia, época, tipología y estado de conservación (fig. 85).

⁶¹ En el proyecto ADISPA participan la Universidad de Valladolid y el Centro Tecnológico Tecnalia, con el objetivo del análisis, digitalización e interoperabilidad entre sistemas para el patrimonio arquitectónico.

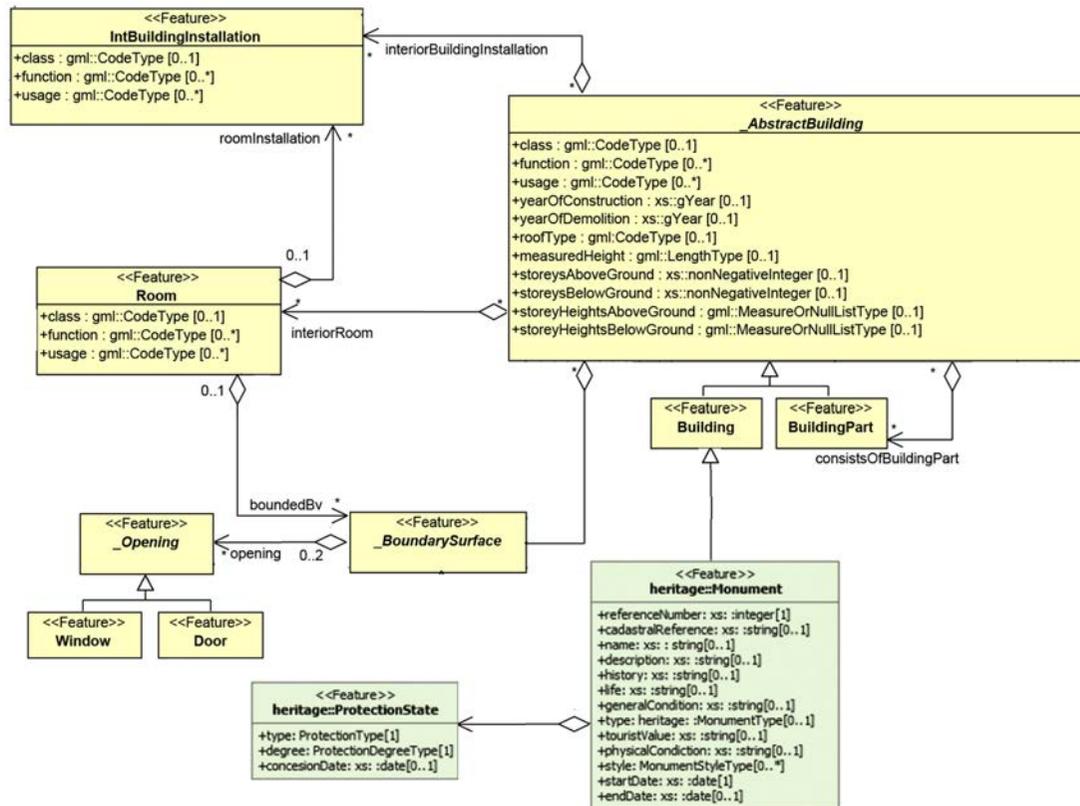


Figura 85. UML⁶² del CityGML de un edificio con LoD 3 y LoD4 y de la extensión ADE "Monument" para el patrimonio cultural arquitectónico. Fuente: elaboración propia.

⁶² El Lenguaje Unificado de Modelado (UML) es un lenguaje de modelado de sistemas de software estándar. Es el más utilizado en las herramientas generalizadas para el modelado conceptual porque es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema, de gramática utilizada por varias organizaciones de normalización como International Standard Organization (ISO) y el Open Geospatial Consortium (OGC).

Una vez definido el modelo, se ha utilizado la herramienta *FME Desktop* para definir un proceso de entrada-salida y obtener datos en el formato definido para el caso de estudio concreto planteado del Torreón. Esta herramienta permite la integración, conversión y transformación de flujos de datos en diferentes formatos (fig. 86).

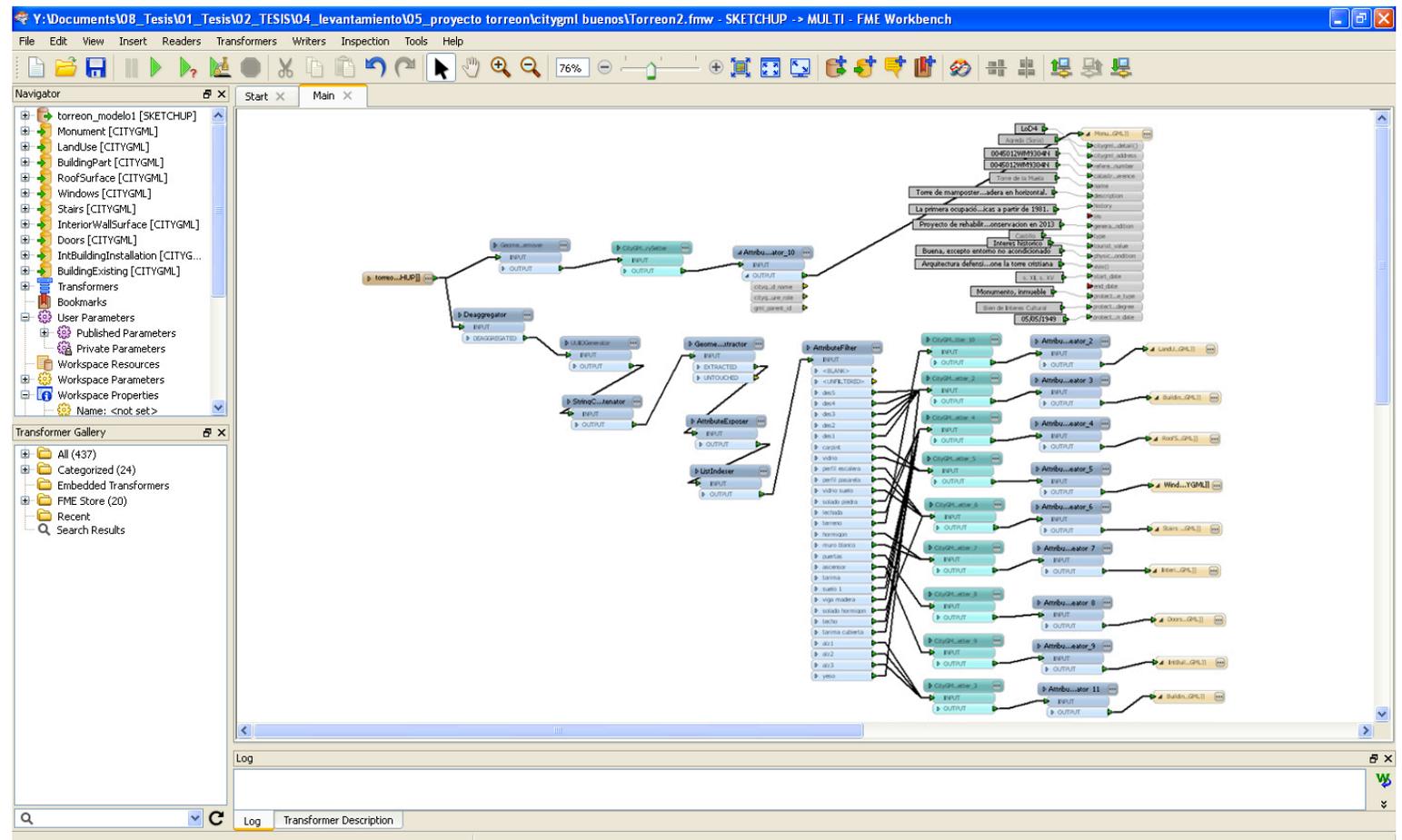


Figura 86. Vista del programa *FME Desktop* de la conversión del modelo del Torreón de *SketchUp* a *CityGML*. Fuente: elaboración propia.

Por cuestiones de volumen y manejo de los datos se ha decidido realizar un desglose de los datos en varios ficheros. Por un lado la entidad general de tipo Monumento sin geometría con los datos de patrimonio, y por otro las partes correspondientes a la división del edificio según elementos constructivos, cada una en un fichero.

El flujo de trabajo por tanto se ha dividido de la siguiente forma. Por un lado el modelo tridimensional exportado del programa *Rhinoceros* a formato *Sketchup* (skp), está definido como una entrada de datos conectada a una salida del nuevo tipo “*Monument*” que a su vez es de tipo *CityObjectMember*, indicando al transformador la exclusión de la geometría. Esta salida, además dispone de una entrada conectada que contienen los atributos alfanuméricos de patrimonio (fig. 87).

```

--<CityModel>
--<cityObjectMember>
--<mnm:Monument gml:id="fmc-gen-a748abc-5e9c-4cd5-9bd6-2da94b64d36a">
--<gen:stringAttribute name="protection_state_type">
--<gen:value>Monumento, inmueble</gen:value>
</gen:stringAttribute>
--<gen:stringAttribute name="protection_state_degree">
--<gen:value>Bien de Interes Cultural</gen:value>
</gen:stringAttribute>
--<gen:stringAttribute name="protection_state_concession_date">
--<gen:value>05/05/1949</gen:value>
</gen:stringAttribute>
<bldg:lod4MultiSurface> </bldg:lod4MultiSurface>
<mnm:referenceNumber>0045012WM9304N</mnm:referenceNumber>
<mnm:catastralReference>0045012WM9304N</mnm:catastralReference>
<mnm:name>Torre de la Muela</mnm:name>
--<mnm:description>
Torre de mampostería de piedra con sillares en esquinas y huecos. Elementos de interes, restos de arquitecturas islamicas y cristianas y los hallazgos arqueologicos. Cubierta plana de madera tecnologica, solucion moderna. Carpinterias de madera. Estructura de muros de carga en vertical y losa horizontal y madera en horizontal.
</mnm:description>
--<mnm:history>
La primera ocupación islámica de Agreda pudo ser ya en el s. VIII, estilísticamente el aparejo del alcázar parece obra emiral, de ese siglo o el siguiente. La zona pudo tener una etapa cristiana en el siglo X antes de volver a poder musulmán y ser reconquistada definitivamente en 1118 por Alfonso I de Aragón. Sobre este alcázar islámico se elevó en época gótica la gran torre central, probablemente a mediados del s. XIV a raíz de la llamada guerra de los dos Pedros. La muralla fue mantenida en uso y reconstruida durante la Edad Media. Finalmente quedó abandonada y absorbida por el caserío de Gijón hasta que comenzaron a realizarse excavaciones arqueológicas a partir de 1981.
</mnm:history>
<mnm:generalCondition>Proyecto de rehabilitacion y conservacion en 2013</mnm:generalCondition>
<mnm:type>Castillo</mnm:type>
<mnm:touristValue>Interes historico</mnm:touristValue>
<mnm:physicalCondition>Buena, excepto entorno no acondicionado</mnm:physicalCondition>
<mnm:startDate>s. XI, s. XV</mnm:startDate>
--<mnm:protectionState>
--<mnm:type>Monumento, inmueble</mnm:type>
--<mnm:degree>Bien de Interes Cultural</mnm:degree>
--<mnm:concessionDate>05/05/1949</mnm:concessionDate>
</mnm:protectionState>
</mnm:Monument>
</cityObjectMember>
</CityModel>

```

Figura 87. Representación en formato CityGML de la entidad Monumento correspondiente al Torreón de la Muela. Fuente: elaboración propia.

Al mismo tiempo, por otro lado, la misma entrada del modelo *Sketchup* (dividida por capas según los elementos constructivos) se encuentra conectada a diferentes salidas, una por cada parte del edificio (del modelo tridimensional) según sus características estructurales (*BuildingPart*, *BuildingExisting*, *RoofSurface*, *InteriorWallSurface*, *IntBuildingInstallation*, *Windows*, *Doors* y *LandUse*) dentro del nivel con mayor detalle, LoD4.

Esta división como se ha mencionado anteriormente produce como resultado varios ficheros XML en formato CityGML. Para mantener la relación lógica entre entidades sería necesario incluir testimonialmente las partes del edificio dentro de la entidad de tipo "*Monument*", no con su contenido, sino con referencias (en este caso a los ficheros), lo cual está soportado por el estándar GML, y por tanto por CityGML.

La división en varios ficheros, sin embargo presenta otras ventajas como la posibilidad de utilizar cada entidad por separado y realizar una visualización de las entidades por capas.

En general las herramientas de visualización permiten integrar y superponer entidades desde diferentes fuentes en el mismo entorno. Estas herramientas permiten navegar por el modelo de 3D y gestionarlo por capas. En el mercado se pueden encontrar herramientas de software de código abierto para este fin como *Aristóteles*, *FZKViewer* u otros comerciales como *FME Data Inspector* (fig. 88).

Una alternativa a este proceso de generación de datos, sería la integración de un plugin en *Sketchup* para realizar la exportación de los modelos tridimensionales directamente en formato CityGML. Sin embargo el proceso no ofrece la oportunidad de desglosar el modelo de datos en capas ni de incluir datos específicos adicionales, en este caso de patrimonio.

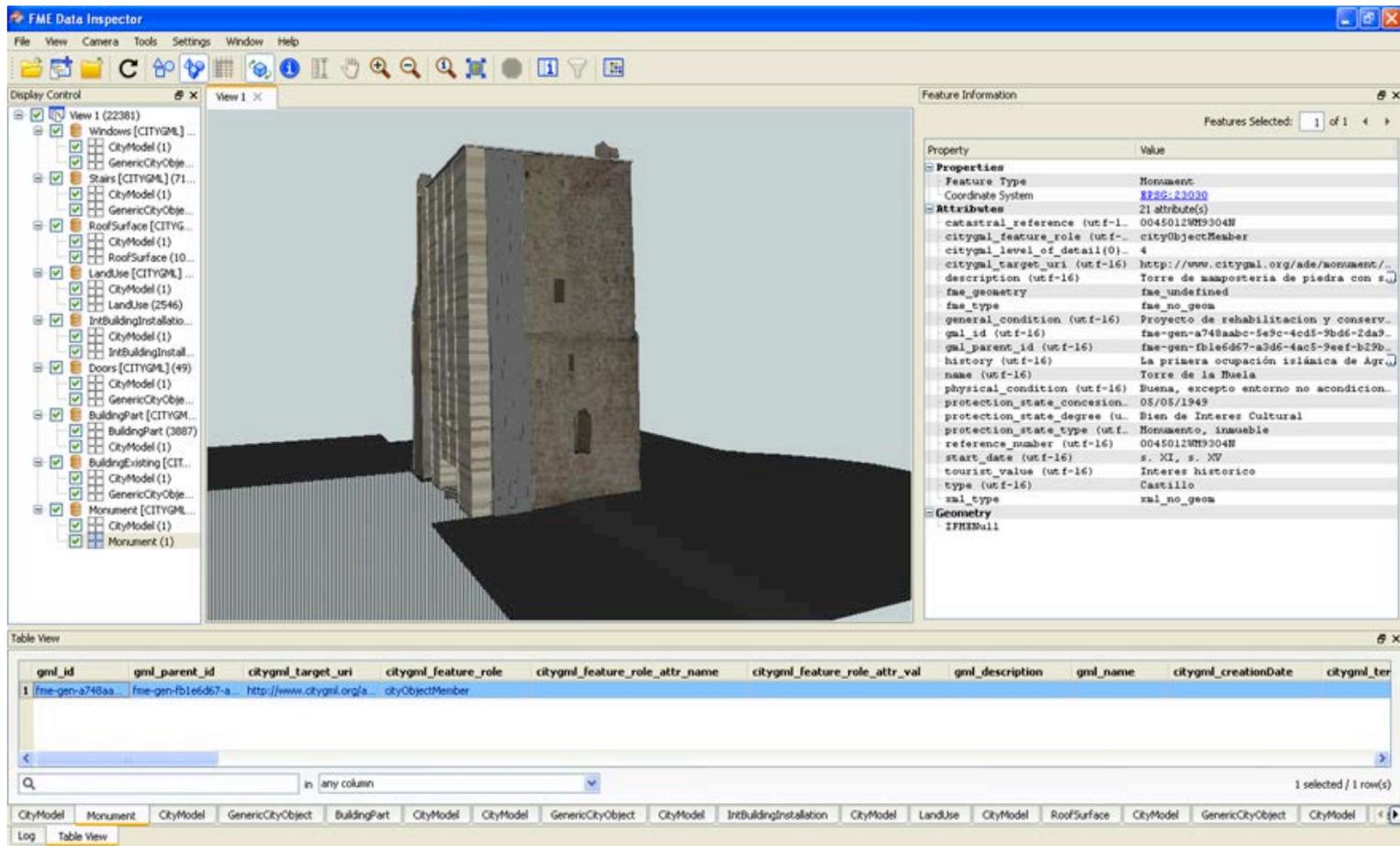


Figura 88. Visualización del modelo de datos del Torreón de la Muela de Ágreda. Fuente: elaboración propia.

El siguiente modelo propuesto en CityGML es el modelo tridimensional de la iglesia de San Miguel realizado mediante fotogrametría. El modelo de datos de la iglesia, se ha definido utilizando nuevamente la herramienta *FME Desktop*. La entrada de datos ha sido el modelo mencionado en formato *3DStudio* (3ds) que contiene la geometría y la textura y por otro lado conectado a dos salidas. Una

de las salidas es un fichero XML en formato CityGML del tipo *Monument*, a su vez del tipo *CityObjectMember*, donde se engloban las características del bien a catalogar (fig. 89).

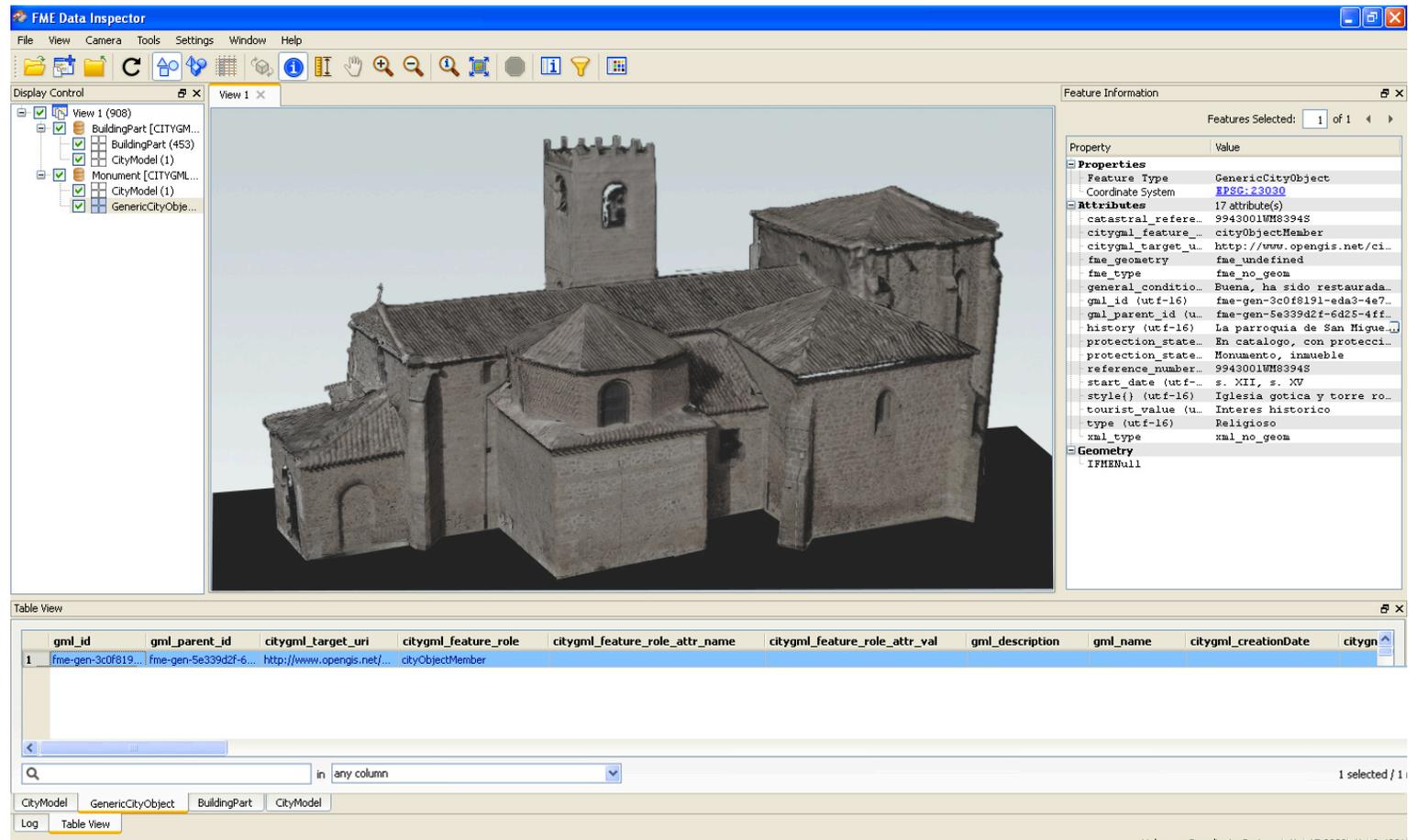


Figura 89. Visualización del modelo de datos de la iglesia de San Miguel. Fuente: elaboración propia.

Esta *feature* no contiene a la geometría del modelo, pero está conectada con los atributos alfanuméricos de la iglesia. Y la segunda salida, si que contiene a la geometría del modelo y en este caso, el modelo geométrico como es una única malla en una capa, su característica de salida es *BuildingPart* para todo el modelo, en este caso, con el nivel de LoD3, considerándose a la malla solamente como detalle exterior de un modelo arquitectónico (fig. 90).

```

- <CityModel>
- <cityObjectMember>
- <gen:GenericCityObject gml:id="fme-gen-3c0f8191-eda3-4e7c-9a12-a8792ac8f3d0">
- <gen:intAttribute name="reference_number">
  <gen:value>9943001WM8394S</gen:value>
</gen:intAttribute>
- <gen:stringAttribute name="catastral_reference">
  <gen:value>9943001WM8394S</gen:value>
</gen:stringAttribute>
- <gen:stringAttribute name="history">
- <gen:value>
  La parroquia de San Miguel es una de las seis históricas que tuvo la villa, tras la reconquista en 1119 y repoblación. Fue renovada casi íntegramente entre los siglos XV y XVI en un estilo gótico de transición al Renacimiento, conserva de la primitiva fábrica románica su soberbia torre-campanario, pieza de innegable influjo aragonés y una de las más interesantes de su tipo en territorio castellano.
</gen:value>
</gen:stringAttribute>
- <gen:stringAttribute name="general_condition">
  <gen:value>Buena, ha sido restaurada en varias ocasiones</gen:value>
</gen:stringAttribute>
- <gen:stringAttribute name="type">
  <gen:value>Religioso</gen:value>
</gen:stringAttribute>
- <gen:stringAttribute name="tourist_value">
  <gen:value>Interes historico</gen:value>
</gen:stringAttribute>
- <gen:stringAttribute name="style{}">
  <gen:value>Iglesia gotica y torre romanica</gen:value>
</gen:stringAttribute>
- <gen:stringAttribute name="start_date">
  <gen:value>s. XII, s. XV</gen:value>
</gen:stringAttribute>
- <gen:stringAttribute name="protection_state_type">
  <gen:value>Monumento, inmueble</gen:value>
</gen:stringAttribute>
- <gen:stringAttribute name="protection_state_degree">
  <gen:value>En catalogo, con proteccion integral</gen:value>
</gen:stringAttribute>
</gen:GenericCityObject>
</cityObjectMember>

```

Figura 90 . Representación en formato CityGML de la entidad Monumento correspondiente a la iglesia de San Miguel. Fuente: elaboración propia.

8.5.3. PROPUESTA DE COMPONENTES PARA DIFUSIÓN Y ACCESO PÚBLICO

Una vez definido un modelo y un proceso de obtención y generación de datos, se procede a realizar una propuesta de una serie de componentes para su posible aplicación. Esta propuesta sólo abarca el ámbito de la difusión y el acceso público. El ámbito de la gestión de los datos y su integración con esta propuesta quedan fuera del objetivo de esta tesis.

A nivel de almacenamiento existe una opción muy adecuada a la elección del formato CityGML. Se trata de la base de datos *The 3D City Database* (Kunde et al. 2013). Es una solución libre y de código abierto para modelos de datos de ciudades y edificios en 3D. Está basada expresamente en el formato CityGML y permite utilizar como almacén de datos tanto una instancia de Oracle Spatial como de PostGIS. Además de proporcionar un esquema eficiente para la base de datos, permite realizar importación de datos directamente en formato CityGML y exportación también en formatos como KML o COLLADA, compatibles con herramientas como Google Earth. Actualmente su uso está extendido en municipios alemanes, empresas de ingeniería a nivel mundial y universidades europeas importantes. Entre los municipios alemanes destacan Berlín, Colonia, Dresde, Leipzig, Frankfurt, Stuttgart, Karlsruhe y Postdam, donde los edificios vienen definidos en LoD2 y pequeñas áreas en LoD3 (Velasco, Olivares y Groeger 2010).

En la capa de servicios, en la línea de la directiva INSPIRE, se propone no solo un Web Map Service (WMS), si no también un *Web Feature Service*⁶³ (WFS) (ref. OGC) que permitan la interoperabilidad y acceso a todo el conjunto de datos, y no solo gráficamente, de forma global, abierta, normalizada y parametrizada mediante consultas basadas también de la misma familia de estándares abiertos. Este tipo de servicios permiten la explotación de información por parte de empresas e instituciones, como demuestran las políticas de datos abiertos. Existen también opciones libres, de código abierto extendidas y contrastadas como es *Deegree*⁶⁴ (ref. OGC e ISO 211) y *GeoServer*⁶⁵ (ref. OGC), aunque en este caso al menos por ahora, no sería tan inmediato el acoplamiento al almacén de datos propuesto como la utilización del propio almacén, si no que requeriría algo más de esfuerzo y trabajo.

⁶³ *Web Feature Service* o WFS del *Open Geospatial Consortium* OGC es un servicio estándar, que ofrece una interfaz de comunicación que permite interactuar con los mapas servidos por el estándar WMS, como por ejemplo, editar la imagen que nos ofrece el servicio WMS o analizar la imagen siguiendo criterios geográficos. Para realizar estas operaciones se utiliza el lenguaje GML que deriva del XML, que es el estándar a través del que se transmiten las órdenes WFS.

⁶⁴ *Deegree* es un software de código abierto para las infraestructuras de datos espaciales y la web geoespacial. *Deegree* incluye componentes para la gestión de datos geoespaciales, incluyendo el acceso a datos, la visualización, el descubrimiento y la seguridad. El software se basa en los estándares del *Open Geospatial Consortium* (OGC) y el Comité Técnico ISO 211. Incluye el OGC *Web Map Service* (WMS) implementación de referencia, una totalmente compatible *Web Feature Service* (WFS), así como paquetes de Servicio de Catálogo (CSW), *Web Coverage Service* (WCS), *Web Processing Service* (WPS) y *Web Map Tile Servicio* (WMTS).

⁶⁵ *GeoServer* es un servidor de software de código abierto escrito en Java que permite a los usuarios compartir y editar datos geoespaciales. Diseñado para la interoperabilidad, publica los datos de cualquier fuente importante de datos espaciales usando estándares abiertos. *GeoServer* es la implementación de referencia del *Open Geospatial Consortium* (OGC), *Web Feature Service* (WFS) y *Web Coverage Service* (WCS) las normas, así como un servicio de mapas Web compatible certificada (WMS) de alto rendimiento. *GeoServer* forma un componente central de la *Geospatial Web*.

El cuanto a la difusión y acceso público a nivel de ciudadano, se recomienda la implementación de clientes web en la capa de aplicación para facilitar el acceso a los datos mediante una interfaz gráfica, tenga o no el usuario conocimientos del patrimonio y de los servicios permitiendo la consulta y obtención de información mediante peticiones definidas usando filtros. Por ejemplo, localizar todos los edificios declarados Bien de Interés Cultural antes de 1990, o mediante la integración de un mapa, buscar los inmuebles que se ubican en una determinada zona y que cumplan además otros criterios (fig. 91).

Adicionalmente a la descarga en varios formatos, principalmente en CityGML, se podría ofrecer algún tipo de visualización en formato alfanumérico incluso gráfico. Por ejemplo, toda la información tridimensional almacenada podría permitir recrear recorridos virtuales. Para ello, existen otras herramientas como *WebGL*. Se trata de una especificación estándar desarrollada para mostrar gráficos en 3D en navegadores web en cualquier plataforma que tenga soporte para ello. También existen servicios que permiten publicar contenido interactivo 3D en línea utilizando *WebGL* como por ejemplo *Sketchfab*.

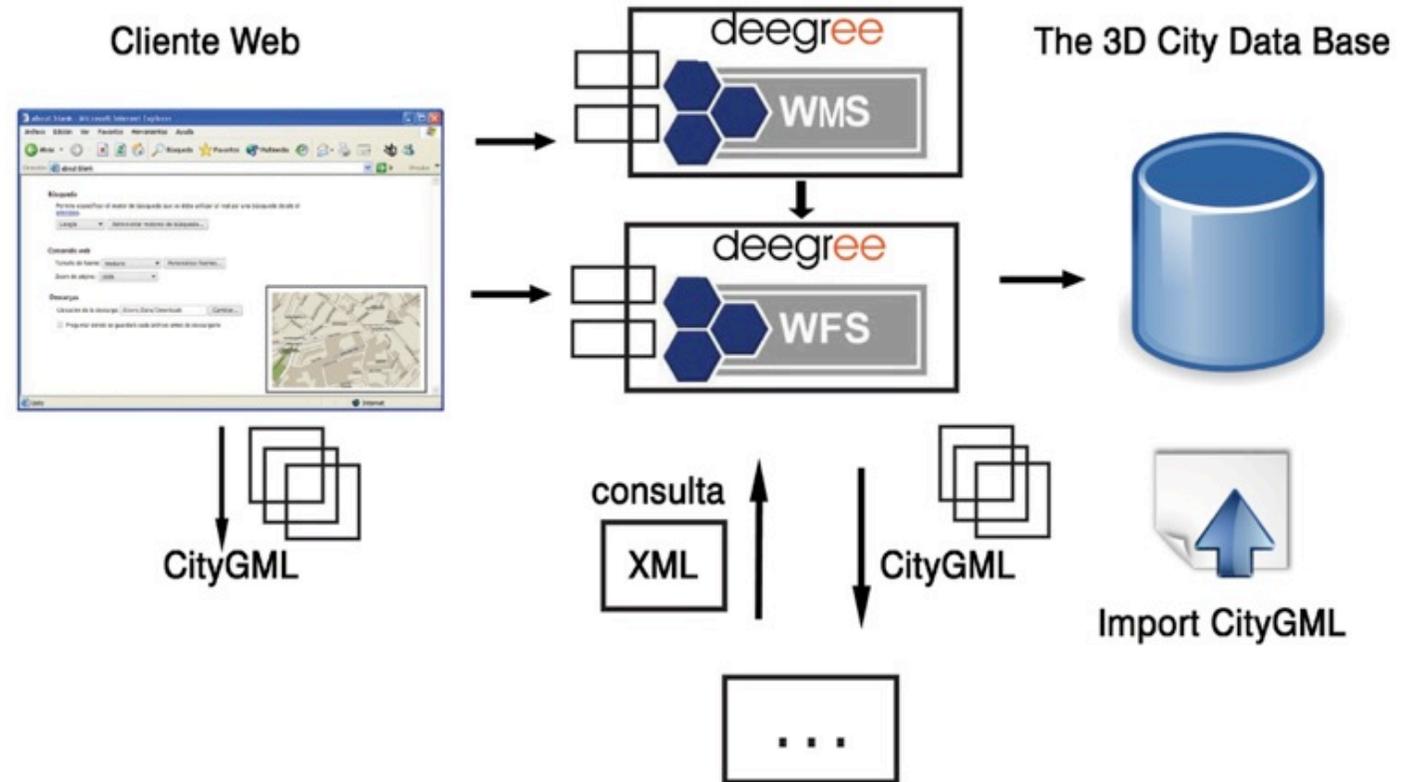


Figura 91. Arquitectura del sistema. Fuente: elaboración propia.

8.6. CONCLUSIONES

Así como en otros ámbitos similares como el medioambiental, la aplicación de una directiva como INSPIRE consigue una difusión e interoperabilidad normalizada, el ámbito del patrimonio se encuentra un escalón por detrás, quedándose prácticamente en herramientas web de georreferenciación, búsquedas y catalogación muy básicas.

Una forma de aportar dichas características a los sistemas de patrimonio es a través de estándares abiertos internacionales. Dichos estándares permiten a su vez incorporar información espacial, por ejemplo, tridimensional y las características del patrimonio arquitectónico, que podrían ayudar en la toma de decisiones para la protección del patrimonio.

En este capítulo se ha tratado proponer un punto de partida sobre las posibilidades que ofrece un modelo definido entorno a la geometría tridimensional de un edificio patrimonial utilizando estándares abiertos, como CityGML, mediante un caso concreto. Este formato proporciona un modelo de información administrado en capas según elementos constructivos y admite la posibilidad de almacenar la información geométrica con diferente nivel de detalle según las exigencias, hasta el máximo nivel LoD4 como el caso de estudio. Además se han propuesto soluciones para la divulgación de los datos mediante formatos abiertos como WFS, WMS, *Deegree* y *WebGL* útiles gracias a la interoperabilidad de CityGML.

De esta forma, se da la posibilidad de aprovechar la información generada a través de documentación arquitectónica o proyectos ya realizados sobre el patrimonio e integrarla en un modelo de datos junto con información temática específica, por ejemplo patrimonial. Uno de los organismos encargado de documentar el patrimonio cultural español es el Instituto del Patrimonio Cultural Español (IPCE). Una de las actividades del IPCE es realizar levantamientos fotogramétricos, estudios de conservación, proyectos de rehabilitación y restauración entre otros, algunos de ellos enmarcados dentro de Planes Nacionales. Lamentablemente la documentación generada no se encuentra vinculada actualmente a la información catalogada. La solución tecnológica aportada, podría contribuir al uso de tal información sobre los sistemas de información regionales del patrimonio.

La aplicación de un modelo de este tipo en el ámbito del Patrimonio Cultural todavía es un reto, implicaría la unificación de criterios de aplicación sobre los estándares, que en tal caso, serían las instituciones implicadas en el patrimonio las que determinasen sobre qué documentación, proyectos o planes llevarlos a cabo. Llegando todavía más lejos, cuya complejidad se multiplicaría si se introdujeran datos para la conservación a la hora de establecer una normalización.

9. CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. APLICACIÓN AL CASO DE ÁGREDÁ

9. CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. APLICACIÓN AL CASO DE ÁGREDA

El trabajo realizado en este capítulo pretende ser una contribución al debate entorno a la disciplina de la conservación de los bienes históricos arquitectónicos. El objetivo principal es mostrar una metodología derivada del uso de tecnologías integradas e innovadoras para crear un proceso de información y conocimiento de diversos datos heterogéneos de un bien. Dicha información se obtiene de la captura geométrica, del conocimiento del estado del arte y del análisis del deterioro y patologías sufridas en el bien. La difusión de información se realiza mediante el Sistema de Información propuesto para la conservación, tutela y gestión de patrimonio construido.

La evolución de la tecnología de los últimos años, sobre todo aplicada en la conservación del patrimonio cultural, apremia a establecer metodologías sobre esta disciplina con el fin de conferir, a este proceso un carácter más objetivo. La intención de dicho objetivismo, es evitar las consecuencias negativas que conllevan los factores subjetivos humanos y prevenir la imposibilidad a una vuelta atrás.

Esta investigación ha significado la realización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) avanzado, llamado Sistema de Información Monumental (SIM). Este sistema integra información geométrica tridimensional, métrica, fidedigna y exhaustiva del monumento, junto con información de tipo alfanumérica, derivada de diversos estudios sobre alteraciones y patologías de los materiales que componen el monumento. Dichos estudios han sido elaborados para la completa valoración del estado de conservación del bien patrimonial. Se considera al sistema como un modelo flexible, debido a que se pueden incorporar datos en la medida en que se hace necesario, sobre los procesos de conservación y mantenimiento del objeto.

La conjugación de la tecnología SIG con la conservación del patrimonio edificado puede llegar a ser una herramienta con un alto potencial, por su fácil manejo y gran capacidad de análisis. Las herramientas SIG son herramientas de análisis, en este caso orientadas a objetos espaciales que relacionan información de elementos gráficos con un conjunto de datos, que además combinan y superponen la información y dan como resultado mapas temáticos consultables.

El esquema de trabajo seguido a continuación consta de las siguientes fases. En primer lugar se realiza una introducción a la conservación de los edificios, tipos de intervenciones y proceso de análisis. En segundo lugar se describen los Sistemas de Información Geográfica, características y uso. A continuación se estudian diversos proyectos que ya han utilizado dicha tecnología. Seguido se expone la metodología de utilización del SIG sobre el patrimonio edificado, en este caso, el Sistema de Información Monumental (SIM), sus ventajas y limitaciones. En último lugar, se definen las características de partida del objeto de estudio, la

investigación de los parámetros de conservación llevados a cabo sobre la iglesia de San Miguel, como caso propuesto y la extracción de conclusiones de la utilización del SIM sobre la conservación del patrimonio edificado de Ágreda.

9.1. LA CONSERVACIÓN

La intervención del patrimonio responde a la necesidad por la conservación de un bien patrimonial de relevancia cultural para la sociedad. La consciencia y la puesta en marcha de las actuaciones sobre la conservación del patrimonio histórico nacieron entre los años sesenta y ochenta en Europa. Sobre todo en los países de primera línea de la vanguardia cultural y artística. Entre ellos destacan Francia, Inglaterra, Italia, Austria, Alemania y la última en sumarse, España. Su retraso se ha debido a la sucesión de la Guerra Civil Española y al régimen dictatorial de Francisco Franco. Estos países han confeccionado principios y enfoques sobre el reconocimiento del valor histórico y artístico de los monumentos, con pleno conocimiento de que tenían que afrontar los procesos de transformación y deterioro sobrevenidos durante épocas anteriores (Sette 1996). Fue Italia la que estuvo a la cabeza de los países europeos y la que ha proporcionado un marco conceptual y teórico más amplio en este ámbito.

La conservación no solo atañe a las competencias histórico-artísticas y a las técnicas utilizadas del maestro constructor, sino también a la objetividad científica del método, al respeto por la historia y a la conciencia de la responsabilidad ética de la intervención. También atañe a la comprensión profunda de la composición, al respeto por la autenticidad de los materiales, de las fases de transformación y la atención a la distinción entre la intervención moderna del monumento antiguo (Fiorani 2007).

En los últimos años, el término de conservación en Italia se ha utilizado con más frecuencia para describir los actos específicos en defensa del patrimonio cultural, con el objetivo de favorecer el carácter conservador en comparación con el de la reintegración de la intervención, con el fin de suplantar la tradición más antigua y bien establecida de la restauración (Carbonara 1997).

9.1.1. TIPOS DE INTERVENCIÓN

En este punto, se hace necesario clarificar el significado de diversas palabras específicas referidas a la intervención sobre edificaciones antiguas como restauración, conservación, rehabilitación y consolidación. La primera, restauración se puede definir como la intervención directa sobre la obra y también como la modificación bajo un riguroso control histórico-crítico. La segunda, conservación como el trabajo de prevención y protección con el fin de evitar que se deba intervenir con la restauración, el cual se constituye siempre un evento traumático (Carbonara 1997). Esta actuación está encaminada a la puesta en valor del inmueble o también se utiliza para recuperar sus valores estéticos, saneando cualquiera de sus elementos. La tercera, rehabilitación se define

como *habilitar de nuevo el edificio haciéndolo apto para su uso primitivo*. Y la última, la consolidación es *asegurar, fortalecer, reforzar, dar firmeza y solidez a una edificación, volviendo incluso a juntar lo roto* (Galindo et al. 1984).

Asimismo, no se puede olvidar la importancia de la Carta de Atenas y la Carta de Venecia que muestran una agrupación de intenciones sobre el campo de la conservación y la protección de los monumentos. Sobre sus principios generales se encuentra la importancia dada tanto a la protección, resultando en lugar de la restauración o la reconstrucción completas, la labor preventiva y constante de mantenimiento y conservación, la mejor opción (López 1987).

Las actuaciones preventivas y de mantenimiento sobre el patrimonio a veces son una etapa subestimada, pero imprescindibles para conferir esa continuidad al monumento. Se puede considerar a la actuación mantenimiento de carácter pluridisciplinar, donde interviene la construcción, la arqueología, la petrografía, la química, etc. Es el tipo de actuación más conveniente para preservar y conservar la autenticidad de los elementos constructivos y siempre forma parte de una secuencia temporal de actuaciones. Se puede definir como una actuación o conjunto de actuaciones, encaminadas al repaso periódico de otras intervenciones anteriores realizadas sobre el inmueble o para paliar situaciones de riesgo o deterioro. Asimismo debe comportar un control y considerada una actuación importante porque a largo plazo, supone un ahorro. La diferencia entre la restauración y el mantenimiento es que la envergadura de la restauración es mayor y que incluso puede cambiar el carácter de un inmueble, mientras que el mantenimiento tiene como característica conservar sus elementos, cuya periodicidad de actuación está planificada y pautada y solo se da en el mantenimiento.

La intervención sobre construcciones históricas conlleva la elección de un determinado criterio global de actuación, por lo que se hace imprescindible un estudio que aporte el conocimiento necesario para llegar a una valoración crítica y coherente con la actuación a realizar. En cambio, las operaciones de mantenimiento, pueden derivar de un estudio anterior, o bien generar un estudio, pero no necesita ser realizado necesariamente siguiendo un criterio global. Actualmente, desde el punto de vista legal, el mantenimiento es obligatorio para los propietarios, sean particulares o entidades jurídicas.

Los trabajos de mantenimiento pueden tener carácter preventivo, corrector de patologías y de lesiones, de protección, de conservación, de saneado, de adecuación y de eliminación de plagas. Las partes que son necesarias mantener son las fábricas, cerramientos y huecos, revestimientos, estructuras, materiales, pintura mural, instalaciones, entre otras. Para ello hay que determinar las causas mediante la inspección, observación, disfunciones por el uso o de la conservación o mediante escritos de las personas afectadas.

Con independencia al tipo de intervención que se vaya a realizar, el proceso a seguir en cada uno de ellos, es similar. Consta de las siguientes fases: estudio previo (análisis cognoscitivo), análisis patológico (diagnóstico) y propuesta de intervención (determinación del remedio).

El estudio previo corresponde a la necesidad de conocer y comprender el objeto de estudio en su estado actual y el entorno que le rodea, mediante un análisis lo más exhaustivo posible como recoge la Carta de Restauo de 1972⁶⁶. Para ello es necesario realizar consultas bibliográficas y documentales para conocer las políticas sociales y económicas de la época, las personas y circunstancias que han permitido la realización del proyecto y la cronología de acontecimientos que han tenido lugar en el edificio histórico. Elaborar un análisis desde el punto de vista artístico y arquitectónico es importante porque resaltan principios estéticos, conceptos de composición y proporción, calidad de las formas estilísticas, armonía formal y espacial, racionalidad constructiva y valoración de las modificaciones realizadas (Álvarez de Buergo y González 1994). La digitalización de un entorno y elemento de interés patrimonial en tres dimensiones, proporciona la documentación de su estado actual con el máximo detalle, almacenando datos exactos referentes a su forma, aspecto y dimensiones. Al inmortalizarlo, se asegura frente a posibles catástrofes o frente al deterioro sufrido por el paso del tiempo de que tenemos todos los datos necesarios para en un futuro restituir ese bien a su estado actual. Además sirve también para registrar las irregularidades, ejes fuera de estructura, la inclinación de los muros, la variación del espesor del paramento, señales de aperturas cerradas o de cuando han sido abiertas de nuevo, etc., además todas estas transformaciones denotan un cambio en la estructura, una ampliación del edificio, una variación funcional y de distribución (Udina 2007). En el caso que existieran planimetrías anteriores, se podría verificar las transformaciones y cambios sufridos con el tiempo y hasta las causas que han derivado a ello.

Por otra parte, en el análisis patológico se estudia la información del estudio previo, las patologías sucedidas al bien y sus posibles causas y efectos que pueden desencadenarse sobre éste, por lo que se identifican las lesiones. La patología constructiva en la edificación la define Monjo (1999) como la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio (o en alguna de sus unidades) después de su ejecución. El diagnóstico nos permitirá establecer tanto la estrategia de reparación como las hipótesis de prevención. Algunos autores denominan las formas de alteración como “indicadores de alteración”, ya que su estudio permite la apreciación cualitativa o semi-cualitativa de ciertos cambios en las propiedades de los materiales a simple vista, por lo que, su observación puede dar una orientación sobre el grado y nivel de deterioro de los materiales (Martín 1990).

Finalmente, en la propuesta de intervención, ya sea de mantenimiento, conservación, un proyecto de restauración o rehabilitación, se proponen las diferentes actuaciones a las diferentes lesiones, toma de medidas preventivas que aseguran una conservación más duradera y controlada.

⁶⁶ Las instrucciones precisas que enuncia la Carta del Restauo de 1972 en el anejo B, son: *La realización del proyecto para la restauración de una obra arquitectónica deberá ir precedida de un exhaustivo estudio sobre el monumento, elaborado desde distintos puntos de vista (que plantee el análisis de su posición en su contexto territorial o en el tejido urbano, de los aspectos tipológicos, los alzados y cualidades formales, los sistemas y caracteres constructivos, etc.), relativos a la obra original, así como las eventuales adiciones o modificaciones. Parte integrante de este estudio serán investigaciones bibliográficas, iconográficas y archivísticas, etc., para obtener todos los datos históricos posibles...*

9.1.2. TIPOS DE DEGRADACIÓN

Las alteraciones son una manifestación del proceso patológico, cuyo origen puede ser muy variado. Los agentes de degradación son entre otros el agua, las sales, agentes biológicos, el viento, la contaminación atmosférica, los terremotos, el sol, la acción humana, un mal diseño o ejecución, acumulación de tensiones, etc (Alcalde y Villegas 2003). En ocasiones estos agentes pueden actuar conjuntamente para producir una misma lesión. Las lesiones se suelen clasificar según la tipología de su causa en químicas, mecánicas y físicas. Dentro de las químicas, la precipitación de sales dan lugar a eflorescencias, los procesos bioquímicos producen biocostras, la erosión química produce costras y la oxidación y corrosión produce ensuciamiento y roturas. Las mecánicas se producen por la dilatación y contracción, la rotura de elementos producen grietas y fisuras, la erosión mecánica de los esfuerzos mecánicos y los desprendimientos ocasionan roturas o pérdida de adherencia. Y por último, las físicas producen humedad capilar, por filtración o por condensación debido a la presencia de agua, de la lluvia y otros agentes atmosféricos y por último, las manchas producen los depósitos de suciedad superficiales.

La información sobre los agentes de degradación proviene de varias fuentes. Entre ellas se encuentran la inspección visual directa, los procedimientos destructivos y no destructivos. Existen numerosas técnicas que se utilizan tanto en el estudio como la caracterización de los materiales, entre ellas se puede diferenciar la microscopía óptica, electrónica y acústica, difracción de rayos X, espectrometría, porosimetría, etc. Los avances de las tecnologías hacen más extensivo el uso de procedimientos no destructivos de una forma rápida y fiable. Por ejemplo, con una cámara termo-gráfica podemos medir la cantidad de humedad superficial que hay en un paramento o la humedad ambiental de un edificio (fig. 92). El mapa térmico de la superficie no sólo depende de las características de los materiales visibles, sino también de los estratos supra superficiales. Ello posibilita poder deducir información sobre la estructura muraria, como rellenos, texturas y otros elementos no visibles, o identificar grietas escondidas además de las humedades mencionadas (Santopuoli y Seccia 2008).

Las lesiones se pueden representar gráficamente porque son observadas en su mayoría sobre la superficie del elemento afectado. Su representación gráfica es de gran utilidad para saber el grado de alteración. El grafismo para reproducir espacialmente las lesiones es mediante áreas poligonales en su gran mayoría, por lo que se pueden medir.

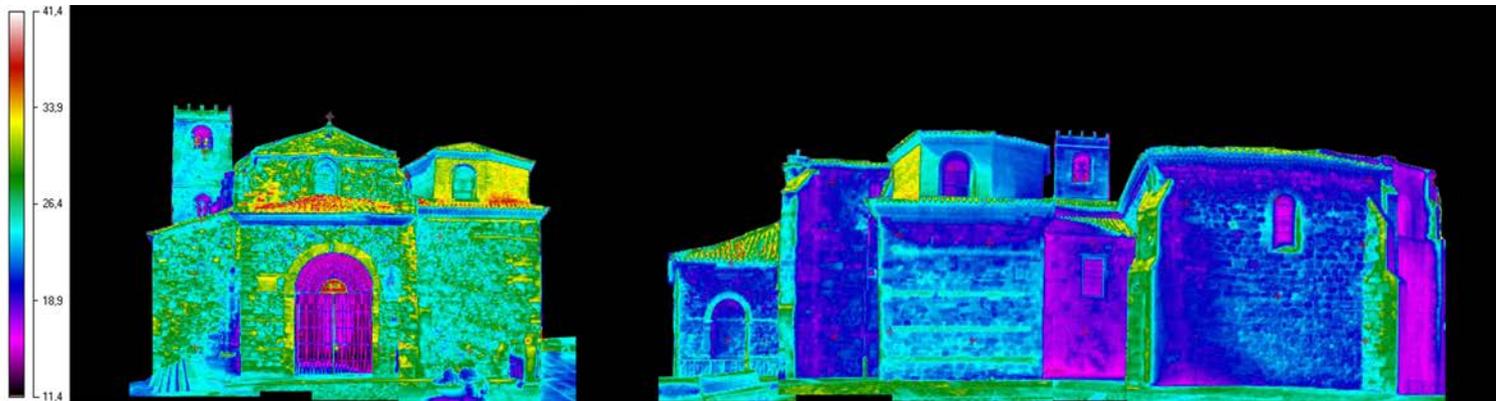


Figura 92. Fotomontajes de los alzados termográficos de la iglesia de San Miguel realizados con la cámara termográfica Fluke Ti20. Fuente: elaboración propia.

Desde el punto de vista metodológico, para el levantamiento gráfico de la degradación y deterioro de un monumento, ha sido un paso importante la elaboración de un léxico normalizado en la documentación de las formas de alteración y degradaciones de las superficies de los materiales de piedra. Se encuentran recogidas en la NorMal 1/88 del ICR (*Istituto Centrale per il Restauro*). Ha conseguido unificar los métodos de levantamiento y de contrastar casos diversos, permaneciendo como una referencia universalmente reconocida. Este léxico, también se ha actualizado para aplicarse sobre otros materiales (Bartolomucci 2008).

9.2. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En la actualidad, los Sistemas de Información Geográfica pueden ser un medio para potenciar la conservación y la puesta en valor del Patrimonio Arquitectónico. Estos sistemas SIG (o GIS en inglés), se crearon hace relativamente poco tiempo, concretamente a mediados del siglo XX, y han ido evolucionando en consonancia a los sucesivos avances informáticos (La Spina et al. 2012). La definición que hace el NCGIA (*National Center of Geographical Information System*) del SIG es que se trata de *un sistema de hardware, software y procedimientos, diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión*. También se puede definir como una herramienta integrada que tiene capacidad de gestionar gran cantidad de datos, entre ellos, espaciales y no espaciales (alfanuméricos), georreferenciados, gestionados por una base de datos y que son visualizados como mapas. De forma que cada dato alfanumérico tiene correspondencia con otro gráfico y viceversa, por lo que tablas y gráficos

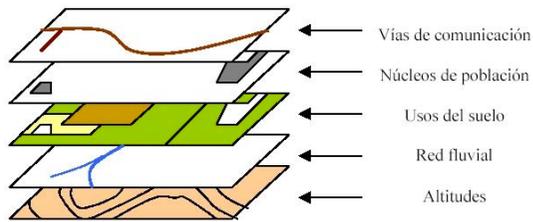


Figura 93. Información en capas temáticas de un SIG. Fuente: Wikipedia [Consultado el 12/05/13 en http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica]

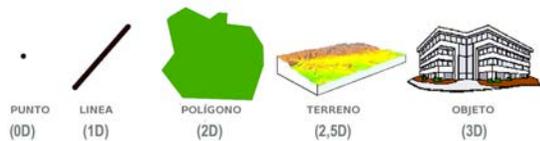


Figura 94. Dimensión espacial de los datos de un SIG. Wikipedia [Consultado el 12/05/13 en http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica]

están conectados a través de un identificador común. Se pueden realizar consultas espaciales, consultas temáticas y consultas selectivas, además de cálculos de distancias o áreas, y permite relaciones de conectividad, contigüidad e inclusión.

Los Sistemas de Información Geográfica son muy versátiles y tienen diversos campos de aplicación abarcando desde la arqueología, el marketing, la sociología o el urbanismo. Por ejemplo, aparte de utilizarse para consultar información, pueden igualmente predecir tendencias, calcular rutas óptimas y planificar estrategias, entre otras por su capacidad para trabajar con datos espaciales. De igual modo proporciona ventajas como visualización e interpretación de datos gráficos, acceso inmediato a listados alfanuméricos y análisis espacial mediante consultas selectivas como la posición espacial, atributos alfanuméricos, etc.

Los SIG almacenan la información mediante diferentes capas temáticas (fig. 93). Este sistema permite realizar un análisis multicriterio, relacionando la información topológica con los objetos de distintas capas, ordenadas para visualizar la información correctamente. La información de las capas puede venir almacenada de forma vectorial o ráster, es decir, en forma vectorial como elementos independientes definidos por distintos atributos matemáticos de forma, posición, color, etc. En cambio la imagen ráster o imagen de mapa de bits son imágenes matriciales formadas por píxeles. La elección de una u otra dependerá de la naturaleza de los datos que se vayan a utilizar y las operaciones que se vayan a realizar. Los elementos que se suelen utilizar en forma vectorial son el punto (0D), la línea (1D), el polígono (2D), modelos digitales del terreno (2,5D) u objetos tridimensionales (3D) (fig. 94). Cada elemento se puede gestionar con tablas asignando valores alfanuméricos, cadenas de texto, booleanos, etc. (Rubio 2013).

Los SIG son una buena herramienta para representar información sobre datos de temática referente a la conservación del patrimonio, como fases constructivas, elementos constructivos, patologías y litologías. El resultado consistirá en una información disponible para consulta y análisis, a la que se puede vincular información en otros formatos, como fotografías, tablas, etc. Por lo que en un solo archivo se puede disponer de información gráfica, datos y documentos enlazados.

9.2.1. PROYECTOS ANTERIORES

En esta labor de investigación se han estudiado otros ejemplos que han utilizado bases de datos asociadas a información gráfica sobre edificaciones patrimoniales. Dentro de los ejemplos más relevantes se encuentran el acueducto de Segovia, el Plan Director de la Catedral de Santa María de Vitoria, el Sistema de Información Arquitectónica SIArch-Univaq de la Universidad de L'Aquila en Italia y el Sistema de Información ARKIS.

9.2.1.1. EL ACUEDUCTO DE SEGOVIA

Al inicio de los años 90, se vio la necesidad de estudiar e intervenir en el acueducto de Segovia por una serie de desprendimientos, roturas y otras patologías acaecidas en la zona más monumental de acueducto. Gran parte de estas alteraciones fueron producidas por el tráfico de vehículos y la contaminación atmosférica. Para el estudio del acueducto se realizó el levantamiento del modelo tridimensional mediante fotogrametría (fig. 95), donde se definieron de manera biunívoca todos y cada uno de los sillares que conforman el monumento, sirviendo de entrada gráfica y también de salida para las bases de datos que se realizaron sobre las patologías (Jurado 1995). De este proyecto, cabe destacar la fiel representación de la realidad llevada a cabo en la documentación gráfica de manera que se representaron hasta las aristas erosionadas para lo limitados que eran en aquel entonces los programas informáticos.

9.2.1.2. EL PLAN DIRECTOR DE LA CATEDRAL DE SANTA MARÍA DE VITORIA

Este ejemplo es relevante debido a la utilización de las nuevas tecnologías aplicadas, unida a una metodología de documentación de una gran cantidad de datos recopilados y registrados mediante la participación de 25 equipos de trabajo. Para la realización de este proyecto, construyeron una base de datos con gran información acerca de la catedral y los elementos que la conforman. Esta información procedía tanto de estudios arqueológicos, históricos y documentales, y se realizaron varios levantamientos arquitectónicos con diversas técnicas. Se obtuvieron resultados de análisis de carácter estructural, comportamientos de morteros hasta de análisis mineralógicos, entre otros. El método de sistematización integral de la información recopilada fue gestionada por una herramienta que permitía la relación entre el modelo 3D y la información de los estudios previos, permitiendo el reflejo de todos los datos constructivos y la extensión física que ocupan (Azkarate et al. 2001).

Este sistema al que le acuñaron el nombre de Sistema de Información Monumental (fig. 96), se sirve de la tecnología SIG y se basa en una relación unívoca entre elementos gráficos y datos almacenados de una base de datos. En el levantamiento gráfico utilizaron técnicas de restitución fotogramétrica que ayudaba a representar tridimensionalmente el monumento mediante líneas y poli-líneas en el programa *Autocad 14*. Los datos recabados de los distintos estudios fueron gestionados por una base de datos en *Microsoft Access*. Posteriormente, unificaron los dos programas en el *software* SIG con entorno CAD, llamado *Autocad Map 3D* (Koroso y Muñoz 2010).

En cuanto a la metodología utilizada, tiene una serie de inconvenientes que tuvieron que solventar de la siguiente forma por las limitaciones tecnológicas de la época (finales de los 90). El modelo se encuentra dividido en diversos archivos manejados mediante planos guía. Los elementos gráficos no son entidades sólidas, son conjuntos de líneas que conforman un elemento e identificados mediante códigos establecidos al que se relaciona el resto de información. A pesar de ello, proporcionaba un conocimiento

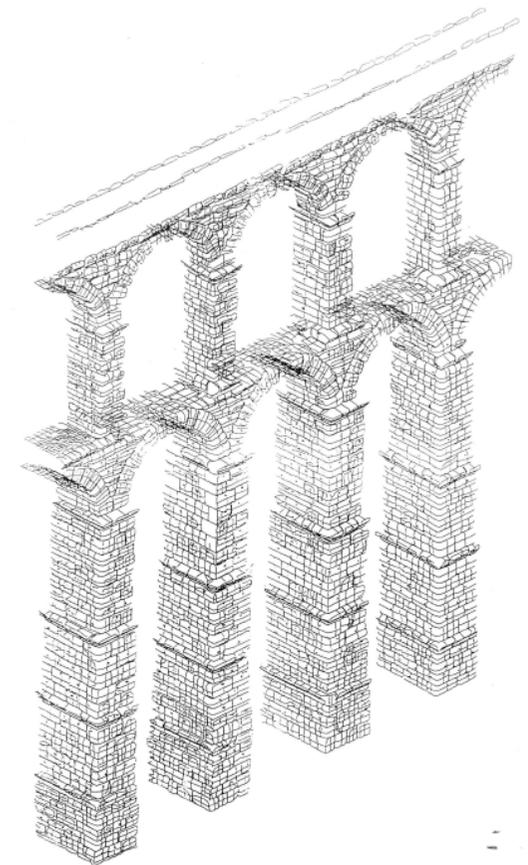


Figura 95. Restitución fotogramétrica en tres dimensiones del acueducto de Segovia. Fuente: Jurado (1995).

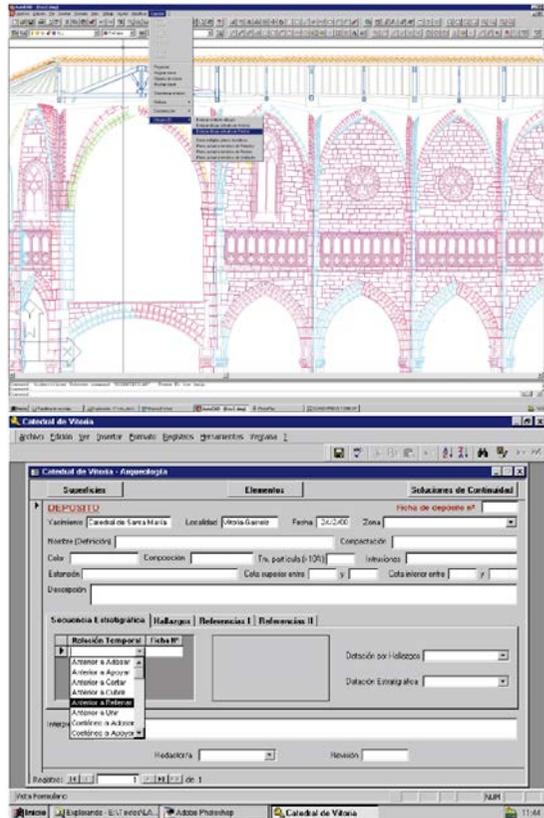


Figura 96. Sistema de Información Monumental de la Catedral de Vitoria. Fuente: Azkarate et al. (2001).

completo de su estado actual y de su historia. Era accesible a todo el equipo multidisciplinar, por lo que cada uno podía realizar modificaciones y actualizar los datos.

9.2.1.3. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN ARQUITECTÓNICA SIARCH-UNIVAQ

SIArch-Univaq es el estudio realizado por el grupo de investigación de la Universidad de L'Aquila en Italia (Centofanti et al. 2008; Brusaporci et al. 2012). El objetivo de este proyecto consistió en integrar modelos tridimensionales del patrimonio arquitectónico histórico, con diferentes tipos de información digitalizada e implementada en un Sistema de Información Geográfica. El resultado ha sido el Sistema de Información Arquitectónica (SIA) que consta de una estructura de base de datos e integra los datos disponibles con la base de datos italiana "Carta del Riesgo". En este caso, el requisito era facilitar el conocimiento arquitectónico del patrimonio y su documentación para planificar procesos de restauración, mantenimiento, gestión y puesta en valor del patrimonio arquitectónico histórico.

Para tal fin, el sistema se estructuró en una base de datos interactiva que permitía la recogida y la integración sistemática de los datos del bien arquitectónico, incluyendo información de naturaleza histórica derivada de archivos, del levantamiento arquitectónico y otros análisis.

La primera información referida era aquella de tipo alfanumérico referente a su naturaleza, propiedad y consistencia, como la localización, destino, accesibilidad, actual uso, etc. La información preliminar la constituyeron los elementos básicos, como el levantamiento arquitectónico (planimetrías y fotografías), la documentación histórica (alfanumérica y fotografías) y las investigaciones especializadas de diagnóstico (alfanumérica, vectorial y fotografías térmicas, etc.). El sistema se estructuró de manera que cada información estuviera vinculada a un elemento único y al bien entero.

El modelo se realizó sobre la plataforma ArcView GIS para obtener una visualización de tipo vectorial en 2D y 3D a la escala deseada. Para ello, el modelo tridimensional se subdividió en diferentes niveles constructivos referidos en la Carta del Riesgo Italiana. Los niveles son: complejo edificado, constituido por elementos funcionales y formales del elemento arquitectónico independiente; el edificio, siendo cada edificio identificable dentro del complejo edificado; habitación individual, siendo la unidad mínima un espacio individual y por último cada componente constructivo dentro de cada habitación individual.

Además de la visualización, se podía extraer información referida al proyecto de restauración, como la individualización y cuantificación de las áreas referidas a un tema específico, consulta a la base de datos de acuerdo a un tema específico, cálculo de cantidades para planear intervenciones, valoración técnica y económica para planear hipótesis, visualización de fotografías y documentos, generación de tablas evaluativas de resumen, definición de hipótesis virtuales para la restauración y por último,

exportación de datos para el planeamiento de la restauración y para estudios históricos fundamentales.

En el estudio se utilizaron los ejemplos de la Villa Correr-Dolfín en Roraipiccolo (Porcia, Italia) (fig. 97) y la iglesia S. Paolo en Peltuinum (Italia) (fig. 98). Se usaron diferentes técnicas para generar el modelo tridimensional y compararon la metodología seguida según las necesidades del objeto de estudio.

9.2.1.4. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN ARKIS

ARKIS (*ARchitecture Recovery Knowledge System*) es un sistema de información potencial para la conservación y el diagnóstico del patrimonio cultural (Salonia y Negri 2003; Salonia y Negri 2005; Negri 2008; Porrovecchio, Campanella y Salonia 2010). El sistema de información ARKIS fue desarrollado por dos investigadores del ITABC (*Institute for Technologies Applied to Cultural Heritage*), Paolo Salonia y Antonella Negri. Fue configurado en el lenguaje de programación AVENUE (de ESRI) y basado en el motor de ArcView, creado como una herramienta auxiliar para la organización, representación y utilización del conocimiento de datos en la recuperación de edificios históricos.

Este sistema es un instrumento modular basado en GIS, organizado en subgrupos que contiene varios niveles informativos, y que permite diversos grados de detalle sobre un único objeto. Su aspecto innovador reside en la transferencia de las funciones específicas del sistema de información geográfica aplicado en la escala arquitectónica de edificios individuales, que se interpreta en las formas canónicas de representación gráfica (plantas, alzado y secciones) como en un área geográfica incluida dentro de un mapa. De esta manera, es capaz de georreferenciar datos heterogéneos sobre superficies horizontales y verticales. La estructura básica está representada por la extensión del modelo georrelacional aplicado a los procedimientos normales típicos de CAD y las bases de datos relacionales más comúnmente utilizados. En consecuencia, cada base de datos de objetos CAD adquiere las características topológicas y vectoriales del GIS. Esta opción ha permitido interrelacionar los datos descriptivos con los datos gráficos, la localización de la información en un punto o área geoméricamente exacta, utilizando funciones de posicionamiento espaciales relacionales para la caracterización geométrica de la información, dentro de las relaciones topológicas entre las diversas partes del edificio.

Asimismo permite registrar cualquier dato útil para la evaluación del deterioro, la planificación de la restauración y la supervisión del patrimonio cultural. La información descriptiva y los datos aparecen en distintas capas sobre los modelos geométricos y admite la superposición de funciones lo que permite visualizar e intersectar información diferente para fines de evaluación, de interpretación y pronóstico. También se pueden formular consultas, buscar imágenes fotográficas y tomar medidas sobre la geometría del modelo, como calcular áreas, perímetros y procesos estadísticos. En resumen, se puede definir como un sistema de información para la gestión del conocimiento y el proceso de diagnóstico sobre el patrimonio cultural.

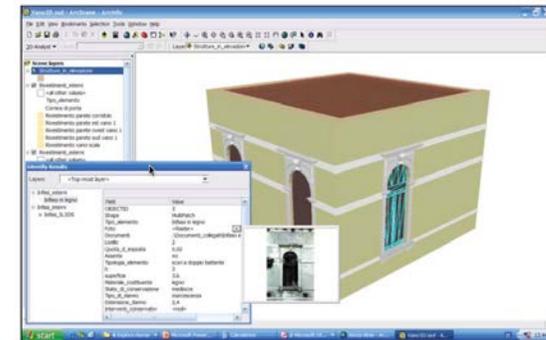


Figura 97. SiArch-Univaq en la Villa Correr Dolfin a Porcia (Italia). Fuente: Centofanti et al. (2008).

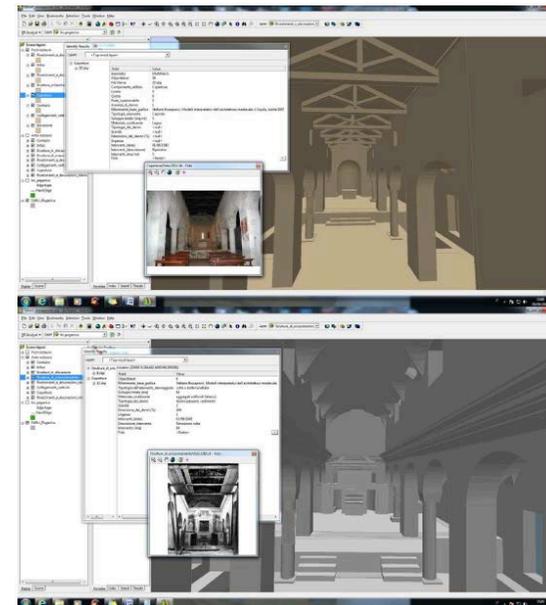


Figura 98. Vista de la actual y originaria iglesia S. Giustino (IT). Fuente: Brusaporci et al. (2012).

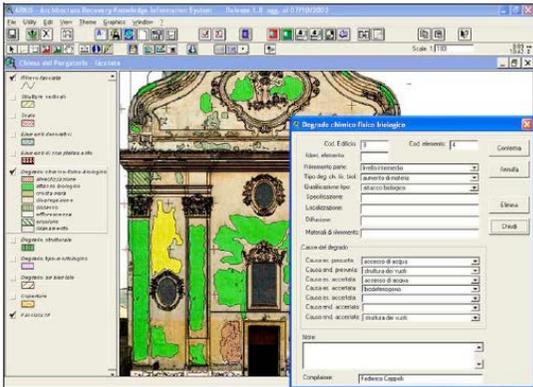


Figura 99. ARKIS y cuadro de información del área seleccionada. Fuente: Salonia y Negri (2003).

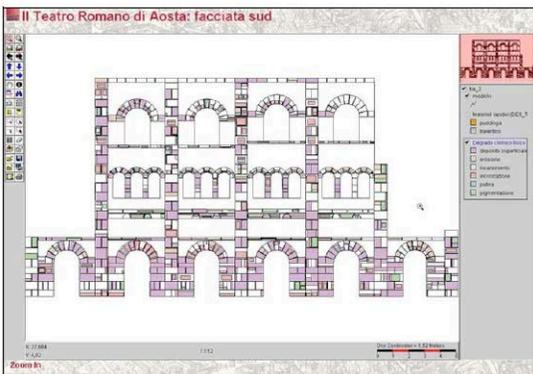


Figura 100. ARKIS-NET, acceso a la consulta de datos del teatro romano en Aosta (Italia). Fuente: Salonia y Negri (2003).

ARKIS-NET se basa en el paquete de software ArcGIS. Proporciona la base para la difusión de datos de gama alta heterogéneos, organizados, representados en forma de SIG y los servicios de mapas a través de Internet. Los clientes pueden visualizar, consultar y analizar la información en un navegador Web fácil de usar, y también integrar fuentes de datos locales con fuentes de datos de Internet (fig. 99 y 100).

Entre los ejemplos descritos existen diferencias, en unos casos ensalzan la importancia de la información tridimensional, y en otros la interrelación de los elementos construidos, sus patologías y en general la capacidad de análisis y documentación de las herramientas.

9.3. PROPUESTA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN MONUMENTAL

En los últimos años ha habido una gran evolución de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) aplicados sobre el conocimiento y la conservación del patrimonio. La diversidad tipológica de los bienes patrimoniales requiere una documentación heterogénea derivados de varias áreas y de la necesidad de un equipo multidisciplinar donde se hace necesario el uso de técnicas informáticas para el estudio y análisis y que deriven en una correcta sucesión de acciones de tutela, valorización y uso del bien en sí mismo (Negri 2008).

Una parte de la conservación arquitectónica, consiste en definir las diferentes vías de conocimiento del estado actual del edificio, crear las bases de datos relativos a los materiales que conforman el bien y los distintos procesos de degradación. Este modo ayuda a la determinación de acciones sobre el estado de conservación del objeto histórico. Definir el estado actual resulta complejo, esta tarea se realiza mediante diversas aplicaciones informáticas desarrolladas en el sector de los bienes culturales. Para ello se utilizan diferentes procedimientos de adquisición de datos y de grabación, compatibles con la naturaleza del bien y que hacen referencia a la configuración geométrica, estructural y composición de los materiales del edificio. Son diferentes configuraciones que sirven para el estudio de las características históricas, arquitectónicas, procesos de formación y análisis de las patologías de la degradación de los materiales constituyentes.

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de este capítulo es estudiar el potencial de la tecnología SIG aplicada al campo de la conservación arquitectónica para facilitar el diagnóstico y análisis de las patologías, deterioros y daños sufridos en el bien patrimonial. Se ha denominado Sistema de Información Monumental (SIM) para seguir en la línea de "Monumento" del apartado de gestión y para estar en la línea del modelo definido para la Catedral de Vitoria, por resultar el más completo de los ejemplos expuestos.

El proceso llevado a cabo para la definición del sistema ha sido en primer lugar, la identificación de los datos de partida del objeto de estudio, en segundo lugar, la metodología desarrollada para la introducción de datos SIG y por último, el análisis de los datos extraídos. Las conclusiones darían lugar a la realización de una monitorización o un proyecto de intervención sobre el bien patrimonial.

Asimismo, cabe exponer los datos de partida y a su vez del elemento fundamental de SIM, el modelo tridimensional. El modelo por sí mismo es una entidad constituida por información geométrica y topológica. Además muestra los materiales que lo constituyen y a su vez, la información queda georreferenciada. Al mismo tiempo, el modelo es la simulación para limitar la escala real del fenómeno arquitectónico que recoge la calidad arquitectónica, espacial y figurativa. Al mismo tiempo, se puede utilizar como la existencia de uno o varios modelos diacrónicos, ello hace que se puedan representar los cambios y las transformaciones sucedidas durante su existencia.

Por lo general, los *software* que se basan en tecnología SIG, gestionan y analizan datos de elementos bidimensionales y actualmente están introduciendo la visualización de elementos en tres dimensiones, como la incorporación de nubes de puntos o elementos simples prismáticos con textura añadida. Empiezan a aparecer en el mercado herramientas que conjugan la gestión de geometrías tridimensionales con tecnología SIG, como es el caso de *Autocad Map 3D* de *Autodesk*. Este programa permite visualizar elementos con tres dimensiones y gestionar datos con características tridimensionales. En este *software*, la información alfanumérica se encuentra en una base de datos relacional y está conectada con los análisis gráficos. En este caso estarían enfocados sobre sistemas constructivos, el estado de conservación y las alteraciones sobre los materiales.

La finalidad de este estudio es la utilización de la representación tridimensional de un edificio patrimonial sobre un sistema de información monumental. Para ello es necesario vincular a la representación gráfica con la representación alfanumérica de las patologías detectadas en el bien. Y por tanto generar la posibilidad de introducir las medidas sobre las actuaciones de mantenimiento o conservación. En este caso se han detectado dos formas de actuar. La primera, mediante la gestión de entidades individuales de los elementos que conforman el objeto y de este modo, vincular a cada uno de los elementos información alfanumérica acerca de sus propiedades constructivas y patológicas, como ocurre en el Sistema de Información de la Catedral de Vitoria. El segundo supuesto, es la información morfológica del bien representada en tres dimensiones, donde el objeto en sí mismo es un único volumen, al que se añade información alfanumérica.

En esta investigación se propone actuar según la segunda actuación, de forma que se pueda superponer información gráfica sobre información constructiva y patológica vinculada a una base de datos. Una de las ventajas de actuar de este modo es que los datos del modelo no se toman como unidades materiales independientes porque ello conllevaría un trabajo infinito, así se pueden utilizar modelos simplificados realizados para este fin. Paralelamente, otra virtud es la posibilidad de superponer varios modelos

diacrónicos. Esta circunstancia permite establecer diferencias entre un modelo creado en un determinado tiempo con respecto a otro creado de forma posterior.

9.3.1. CASO DE ESTUDIO: LA IGLESIA DE SAN MIGUEL

Con el objetivo de exponer una metodología de utilización de la tecnología SIM aplicada al campo de la conservación del patrimonio, se va a utilizar como caso de estudio, la iglesia de San Miguel. Este ejemplo va a servir para comprobar la utilidad de las herramientas SIG para el análisis y ejecución del cuadro de patologías de un bien patrimonial. Igualmente, servirá como punto de partida para diversos proyectos de intervención, ya sea de mantenimiento, consolidación, conservación o rehabilitación.

La elección del *software* se ha visto influenciada por el sistema operativo, las necesidades y la compatibilidad con los datos de partida. El abanico de posibilidades de la tecnología que utiliza SIG está limitado a *gvSIG*, *ArcGIS*, *Quantum GIS* y *Autocad Map 3D*. La selección se supeditó a la facilidad de la entrada de datos de la información tridimensional. De esta forma, la información geométrica y la temática del Sistema de Información Monumental utilizado en la iglesia de San Miguel se ha gestionado mediante el programa *Autodesk Map 3D*. Este programa ha sido implementado por la empresa *Autodesk* para trabajar con Sistemas de Información Geográfica, porque añade al programa básico de *Autocad* una serie de módulos que permiten el enlace a una base de datos, la creación de topología y el acceso a formatos de datos de otros sistemas GIS.

El primer recurso estudiado ha sido el modelo tridimensional. Se ha partido del modelo obtenido mediante fotogrametría o láser escáner de la iglesia. *Autocad* permite insertar en su entorno gráfico modelos con extensión .3DS. Se probó a insertar el modelo de la malla texturada de la iglesia y el resultado fue que la malla se insertaba perfectamente a excepción de la textura. Por lo que se decidió simplificar el modelo para su uso sobre la herramienta. Por ello, se modeló de nuevo la iglesia sobre el primer modelo tridimensional métrico y fidedigno, pero esta vez mediante superficies y geometrías simples caracterizadas de la iglesia. La operación fue sencilla y costó un día de trabajo debido a que la base sobre la que tomar los datos era sólida. El modelo fue creado con el programa *Rhinoceros* y posteriormente introducido en *Autocad*. Una vez allí, se colocó la textura rectificadora sobre cada una de las superficies. En la figura 101 se muestran varias vistas del modelo sobre *Rhinoceros* y en la figura 102, una vista del modelo con la textura rectificadora y otro con la identificación de las patologías representadas mediante poli-líneas.

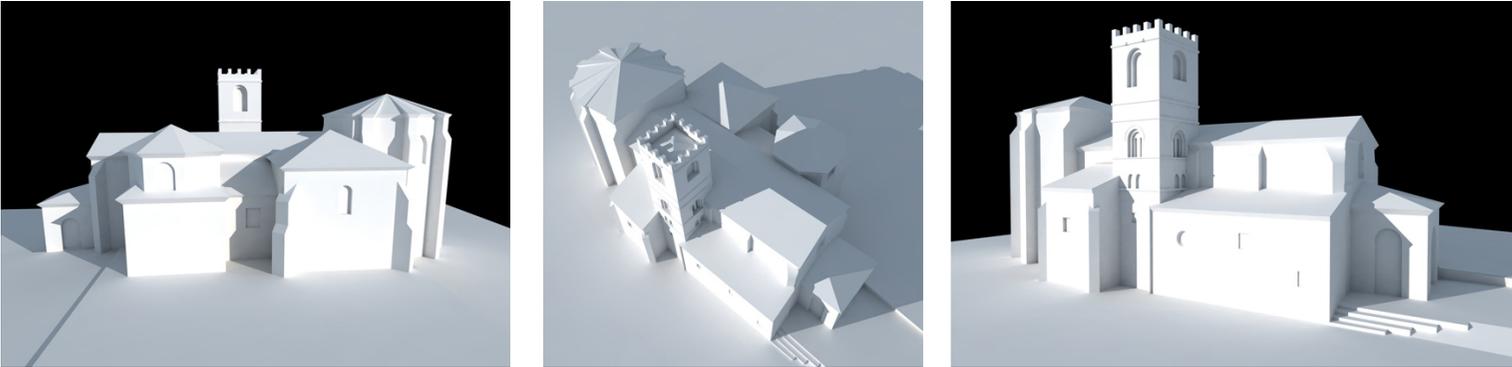


Figura 101. Imágenes del modelado simplificado de la iglesia de San Miguel. Fuente: elaboración propia.

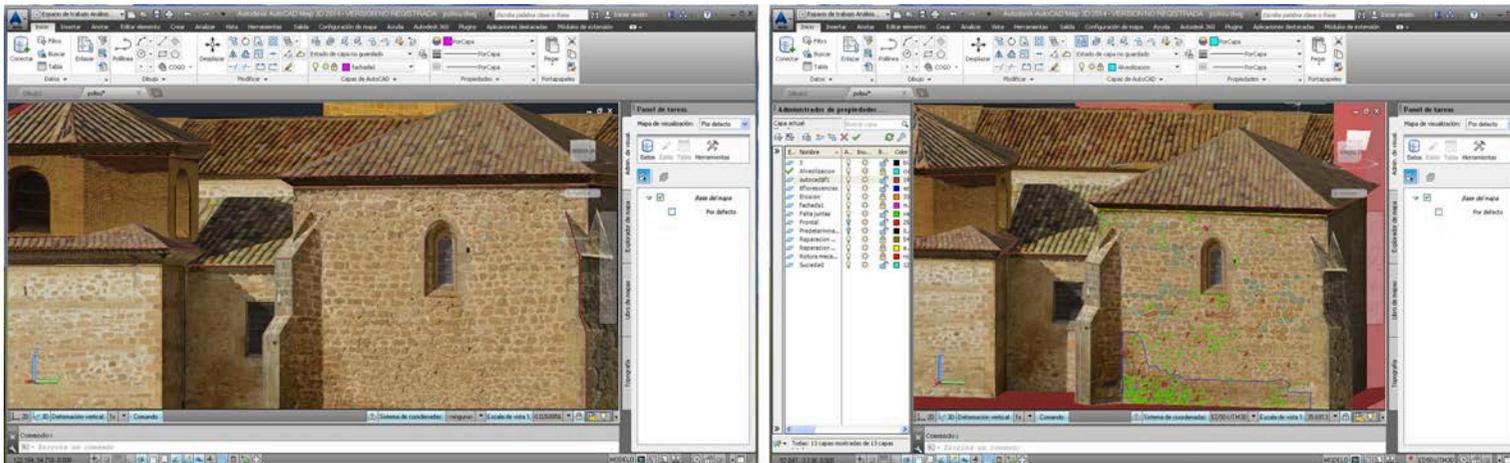


Figura 102. Modelo tridimensional de la iglesia San Miguel texturizado y delineado de las patologías. Fuente: elaboración propia.

La simplificación del modelo tridimensional ha servido para crear superficies con la misma planeidad. Esta opción da la posibilidad de dibujar polígonos sobre cada superficie según las necesidades del SIM. Por tanto, la manera de trabajar sobre el SIM ha sido primeramente en *Autocad*, delineando cada una de las patologías detectadas sobre cada fachada. Posteriormente, el contenido de esas capas, en este caso, principalmente polígonos, se han exportado como archivos *shapefile*⁶⁷ para contener la información del elemento geoespacial.

Para comprobar el potencial de la herramienta que utiliza información SIG sobre un modelo tridimensional, el trabajo se ha acotado a una de las fachadas de la iglesia. Se ha escogido la fachada sur de la nave de planta cuadrada con contrafuertes en las aristas como se ve en la figura 102.

Una vez introducido el modelo tridimensional texturizado, el siguiente paso ha sido la identificación de materiales constructivos, patologías y reparaciones, con su consiguiente delineado. En el estado actual de la fachada se han reconocido los distintos materiales que la conforman, entre ellos, piedra caliza de Ágreda, piedra arenisca y ladrillo cara vista. Por otro lado, se ha representado la morfología macroscópica de las alteraciones sobre estos materiales, identificadas según los movimientos estructurales como grietas, fisuras, desplomes y roturas; las alteraciones de la piedra considerándose la alveolización, la disolución o erosión; las eflorescencias, las exfoliaciones o roturas mecánicas por los ciclos de hielo y deshielo; biocostras y depósitos superficiales de suciedad; también humedades y pérdida de material en las juntas. Asimismo se ha acotado el grado de alteración, distinguiendo entre muy alterado y poco alterado e identificando las causas de las patologías. Por último, también se han reconocido otras clases de materiales, los de reparación como el mortero de cemento y el mortero de cal.

Antes de comenzar a trabajar, es importante asignar un sistema de coordenadas que sirve para localizar de manera precisa las entidades geográficas. Es fundamental en la representación de un Sistema de Información Geográfica la ubicación geográfica de los elementos que le confieren una extensión específica para situarlos sobre la superficie de la Tierra. Se ha escogido el código donde se encuentra situada la localidad de Ágreda (fig. 103):

EPSG: 23030 Proyección UTM ED50 Huso 30N

⁶⁷ ESRI *Shapefile* (SHP) es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI. Se trata de un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos. No obstante carece de capacidad para almacenar información topológica. Es un formato multiarchivo, es decir está generado por varios ficheros informáticos. El número mínimo requerido es de tres y tienen las extensiones siguientes:

- .shp -> es el archivo que almacena las entidades geométricas de los objetos.
- .shx -> es el archivo que almacena el índice de las entidades geométricas.
- .dbf -> es la base de datos, en formato dBASE, donde se almacena la información de los atributos de los objetos.

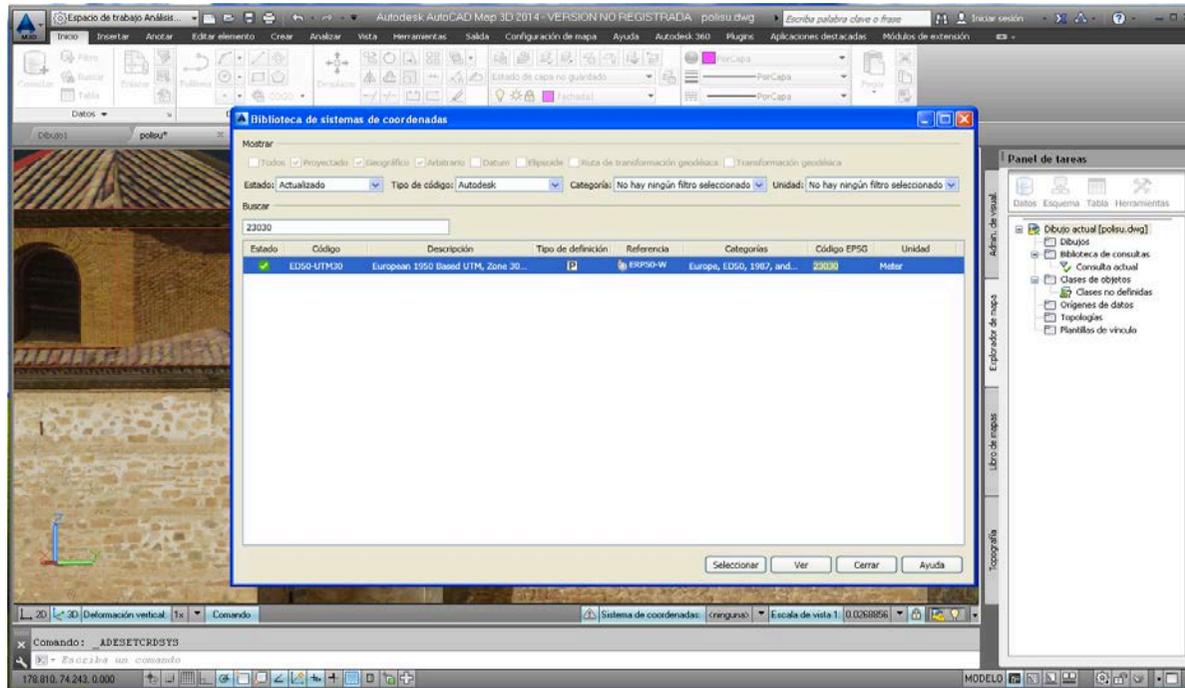


Figura 103. Asignación de sistema de coordenadas al dibujo. Fuente: elaboración propia.

La información relativa a cada estratigrafía, como se ha mencionado anteriormente, se ha grafiado sobre la geometría del edificio y representada en capas separadas por temas, conteniendo así información homogénea. Para cada tema están asociados datos alfanuméricos contenidos en una base de datos relacional dentro de dicho programa. Por ello, cuanto mejor esté estructurado el modelo y la base de datos, más fácil será su manejo y por tanto su comprensión. De esta manera, la estructura fijada se ha dividido en capas según los materiales, las patologías y las reparaciones, asignando a cada uno de los elementos distinguidos en estas capas, una serie de atributos como se ven en la figura 104. Estos atributos van a servir para definir las propiedades de los componentes y poder realizar operaciones de análisis y consulta.

Finalmente, la generación del archivo de datos, *shapefile* es relativamente fácil y por consiguiente la exportación de los elementos se ha realizado de la siguiente forma. En primer lugar se han dejado, por ejemplo activadas las tres capas que forman el conjunto de materiales. Se han exportado como *shapefile*, para ello se han escogido las tres capas y creado varias clases basadas en un

objeto de dibujo, cuya geometría se identifica con polígonos y finalmente es tratada como poli-líneas cerradas, es decir, polígonos. De esta forma, cuando se conectan los datos del archivo “materiales”, añadimos al mapa las tres capas definidas dentro de ésta, visualizándose en el menú como un conjunto de capas de información (fig. 105).

Las ventanas de diálogo, están configuradas para cada tema presente en la vista, permitiendo al usuario modificar y consultar los datos relativos a los diversos temas del sistema de información. El esquema con información alfanumérica está organizado de forma que asocia información descriptiva a los temas específicos marcados en el dibujo por zonas. Dentro de la información descriptiva, se ha considerado necesario y de ayuda para otros estudios más selectivos, la identificación de los elementos por situación y orientación.

El resultado final es una superposición de capas con diversas bases de datos y de diversos temas grafiados con la finalidad de analizar la obra mediante los diversos estratos informativos que permiten configurar entornos de síntesis para conocer e interpretar los diversos fenómenos.

CAPA	ATRIBUTOS						
MATERIALES							
Piedra Caliza de Ágreda	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material Cadena-Lista	Estado de conservación Cadena-Lista			
Piedra Arenisca	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material Cadena-Lista	Estado de conservación Cadena-Lista			
Ladrillo Cara Vista	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material Cadena-Lista	Estado de conservación Cadena-Lista			
PATOLOGÍAS							
Alveolización	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material de referencia Cadena-Lista	Localización sobre material Cadema	Grado Alteración Cadena-Lista	Causa Cadena	Área Decimal
Eflorescencias	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material de referencia Cadena-Lista	Localización sobre material Cadema	Grado Alteración Cadena-Lista	Causa Cadena	Área Decimal
Erosión	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material de referencia Cadena-Lista	Localización sobre material Cadema	Grado Alteración Cadena-Lista	Causa Cadena	Área Decimal
Rotura mecánica	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material de referencia Cadena-Lista	Localización sobre material Cadema	Grado Alteración Cadena-Lista	Causa Cadena	Área Decimal
Suciedad Superficial	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material de referencia Cadena-Lista	Localización sobre material Cadema	Grado Alteración Cadena-Lista	Causa Cadena	Área Decimal
Falta de juntas	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material de referencia Cadena-Lista		Causa Cadena		Área Decimal
REPARACIONES							
Reparación con mortero de cal	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material de referencia Cadena-Lista		Material Cadena-Lista		Área Decimal
Reparación con mortero de cemento	id Cadena	Situación Cadena-Lista	Material de referencia Cadena-Lista		Material Cadena-Lista		Área Decimal

Figura 104. Atributos sobre la capa *shapefile* de cada elemento. Fuente: elaboración propia.

A continuación se especifican los datos de la figura 104. En primer lugar, cada elemento se caracteriza con un atributo "id". Éste lo identifica en el dibujo y en cada capa y está formado por una cadena alfanumérica. El atributo de "situación" viene determinado por una cadena de texto y limitada a una lista que contiene la situación según la orientación, ya sea Norte, Sur, Este u Oeste. El "material", también está referido a una cadena de texto y limitado a una lista con los tres materiales que se han identificado en las fachadas, piedra caliza de Ágreda, piedra arenisca y ladrillo cara vista. Estos mismos materiales vuelven a aparecer como una lista en el atributo "material de referencia". La "localización sobre el material" es una cadena de texto en la que se puede introducir cualquier localización sobre el elemento de referencia, se puede situar sobre todo el material o en una zona en concreto. El "grado de alteración" se ha caracterizado por una cadena de texto, limitado a una lista que contiene: muy alterado o poco alterado. El atributo "causa", también viene definido como una cadena de texto para identificar en cualquier caso la causa que ha producido esa alteración en el material y por último el "área", es un atributo que se ha generado cuando se ha realizado la exportación de la capa de *Autocad* a *shapefile*, calcula directamente el área que viene bajo cada polígono y viene determinado como un número decimal.

Para llevar a cabo operaciones de consulta, basta con destacar haciendo un clic sobre el elemento geométrico en la representación gráfica. Se pueden realizar cálculos de áreas, perímetros y porcentajes de las áreas de las zonas afectadas por diversas patologías y medir las posiciones relativas entre puntos. Por ejemplo, se podría realizar una estimación cualitativa del volumen que sería necesario rellenar en las juntas que han perdido el relleno. Se pueden referenciar imágenes sobre diversos puntos de detalle. E incluso se pueden modificar los modos de visualización de las capas, cambiar los colores, asignarles transparencia o colocar un tramado.

Por otro lado, la introducción de atributos a cada capa de información geográfica se realiza desde el "explorador de mapas" del panel de tareas. Desde la edición del *schema* de cada capa, se pueden añadir tantas propiedades como atributos sean necesarios. A la propiedad se le da un nombre y un tipo. En este caso se ha confeccionado una tabla de datos a cada capa y se ha decidido el tipo de atributo que se va a introducir en la tabla según la figura 104, pudiendo elegir entre cadena de texto, booleano (verdadero o falso), int16 (número entero de 16 caracteres), decimal, etc., y también dentro de la cadena de texto, se puede asignar una restricción a una lista, con los valores definidos por el usuario (fig. 105 y 106).

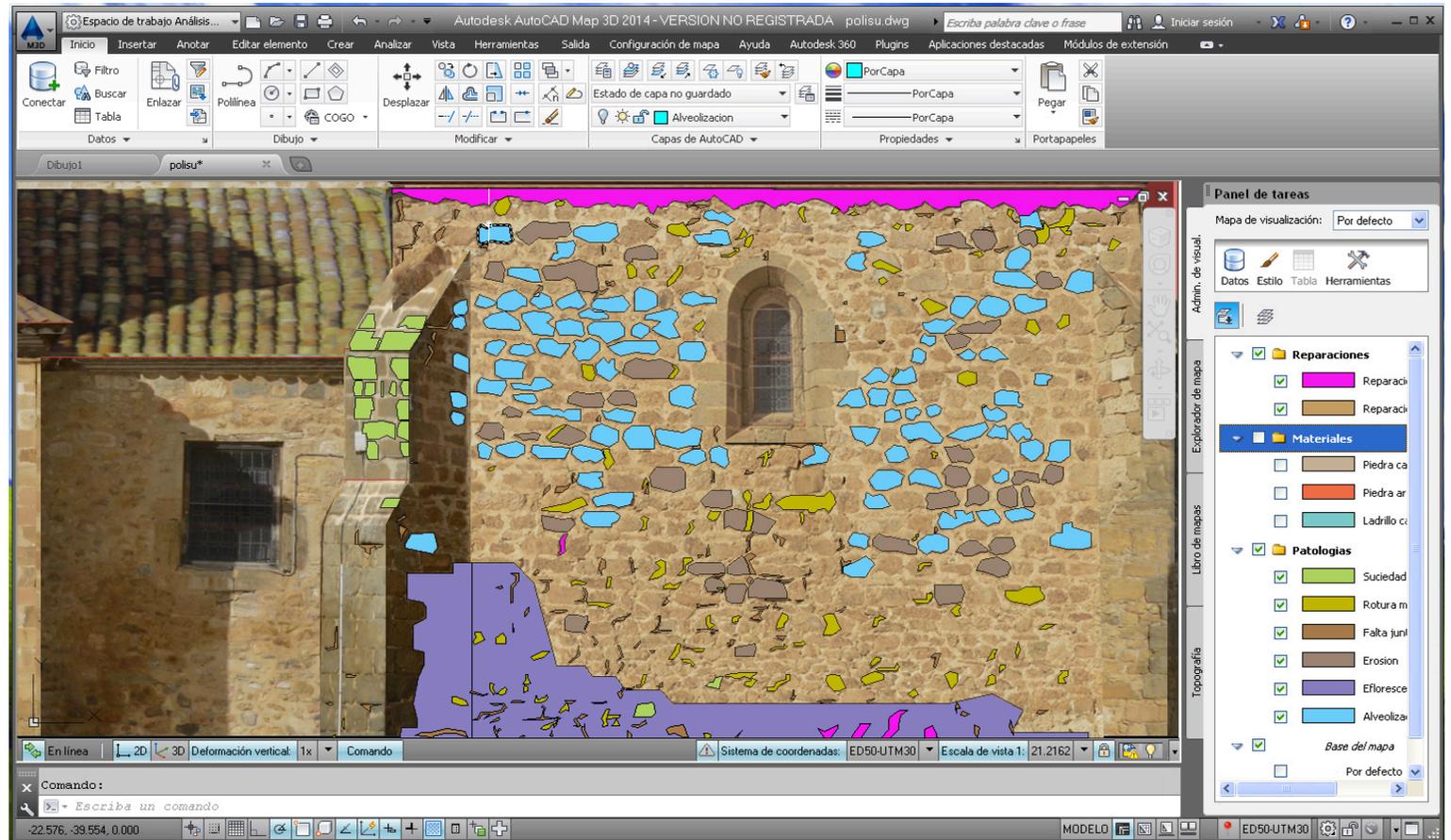


Figura 105. Conexión y visualización de los tres *shapefile* creados, “materiales”, “patologías” y “reparaciones”. Fuente: elaboración propia.

The screenshot shows the Autodesk AutoCAD Map 3D 2014 interface. The main window displays a 3D model of a stone wall with various colored patches representing different types of damage or material. The 'Panel de tareas' (Task Panel) on the right shows a list of layers and materials, with 'Alveolización' selected. Below the main window, a table of attributes is displayed for the 'Alveolización' layer.

Featid	id	Situación	Material de referencia	Localización sobre material	Grado Alteración	Causa	ÁREA
1	A-6-1	Sur	Piedra Caliza de Agreda	Parte inferior	Poco Alterado	Viento	0.00854821859...
2	A-6-2	Sur	Piedra Caliza de Agreda	Todo	Poco Alterado	Viento	0.00679750235...
3	A-6-3	Sur	Piedra Caliza de Agreda	Parte superior-todo	Muy Alterado	Viento	0.00702856327...
4	A-6-4	Sur	Piedra Caliza de Agreda	Todo	Muy Alterado	Viento	0.01023696588...
5	A-6-5	Sur	Piedra Caliza de Agreda	Todo	Poco Alterado	Viento	0.01081749699...
6	A-6-6	Sur	Piedra Caliza de Agreda	Todo	Muy Alterado	Viento	0.02407307501...

Figura 106. Creación de la tabla de atributos sobre la capa de información geográfica “Alveolización”. Fuente: elaboración propia.

Las operaciones de consulta, también se pueden llevar a cabo utilizando una *Query*, que significa “consulta sobre una base de datos”. Para realizar el filtrado de datos, se pueden utilizar las características que se han definido en las tablas, por ejemplo, mostrar cuáles son los elementos de la capa “Alveolización” cuyo grado de alteración es “Muy alterado”. Con ello, se podría realizar una estimación cualitativa de la superficie que sería necesaria intervenir (fig. 107).

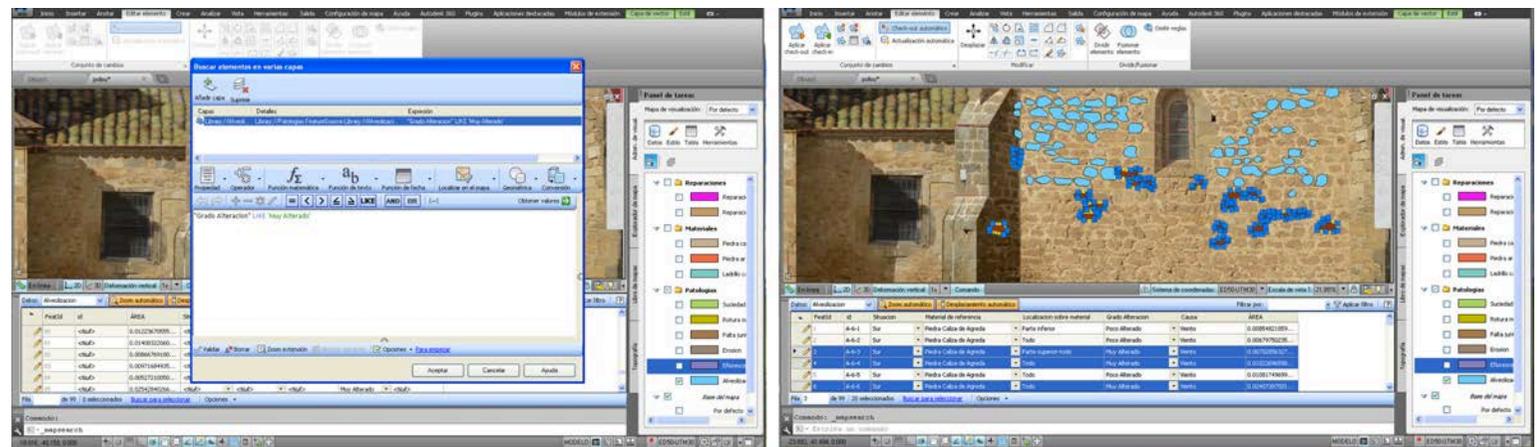


Figura 107. Consulta mediante *Query* de los elementos con mayor grado de alteración sobre la capa “Alveolización”. Fuente: elaboración propia.

El extracto presentado sería tan sólo el inicio de la utilización del SIM sobre la iglesia tomada de ejemplo, pero a través de éste, se puede demostrar el potencial de la herramienta.

9.4. CONCLUSIONES

Un Sistema de Información Monumental es de verdadera utilidad para el desarrollo de hipótesis dirigidos a los procesos de conservación y mantenimiento del Patrimonio Cultural Arquitectónico. Se puede configurar como un instrumento de organización, representación, de conocimiento y asimismo resulta eficiente en el seguimiento, control sistemático y de utilidad para alertar a los organismos encargados de la protección de éste.

El camino de esta investigación ha transcurrido en la concepción de un sistema simple, con una estructura que apunta a las necesidades finales: la evaluación del estado de la construcción y el seguimiento de su evolución. Es decir, uno de los objetivos ha sido configurar un instrumento rápido de diagnóstico, para reducir al máximo el tiempo de decisión precedente al proyecto de conservación o mantenimiento y que al mismo tiempo, ofrece la posibilidad de monitorizar las sucesivas intervenciones realizadas. Esta última actividad se realiza estableciendo el momento cero a partir del cual se realiza la monitorización del comportamiento en el tiempo. Para ello, es necesario actualizar el modelo, introduciendo levantamientos periódicos sobre el mismo entorno gráfico. La superposición de ambos, dará como resultado la valoración sobre el estado de conservación. Del mismo modo, resulta adecuado para controlar la evolución del estado de conservación y las intervenciones realizadas en el tiempo, con el fin de tener una “conservación programada”. Este estudio resulta de interés para organismos u organizaciones que se dedican a la tutela del patrimonio arquitectónico porque ofrece una instrumentación operativa en cuestión de gestión, desde operaciones de catalogación a la preparación estrategias de conservación y el diseño de intervenciones específicas.

Asimismo, otro análisis interesante del SIM es, el de la lectura de superposición e integración de diversas temáticas o topologías debido a que el archivo digital integra a su vez datos geométricos e información descriptiva. Por consiguiente, permite realizar consultas sobre los datos descriptivos o análisis espaciales, produciendo simulaciones y análisis de predicciones. Además su ventaja más notoria, es la lectura cruzada de datos, como por ejemplo, de los datos referentes a las patologías de degradación y los materiales que conforman la fachada. Se pueden extraer conclusiones como, obtener información adicional de la presencia de una alteración específica en relación al material o a la situación espacial sobre la fachada.

Por otra parte, con la “carta clínica” representada sobre patologías y alteraciones, se pretende favorecer una reflexión multidisciplinar y proponer las bases para definir un proyecto racional de “conservación programada”, donde la planificación de las intervenciones a seguir estén basadas en el conocimiento profundo de los materiales y del objeto a conservar (Della Torre 2000). Estos datos de partida y el estudio previo de las patologías sufridas en el bien patrimonial son objeto de estudio por parte de un equipo multidisciplinar, compuesto por arquitectos, topógrafos, arqueólogos, químicos, historiadores, etc. y que cada uno utiliza distinta instrumentación.

En conclusión, todas estas concepciones son las que han dado la posibilidad de crear una visión innovadora sobre la información relativa a la conservación del patrimonio mediante la utilización de un sistema de información que emplea además modelos tridimensionales, que hasta ahora lo común era utilizar representaciones bidimensionales o tridimensionales en estructura alámbrica.

10. DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. APLICACIÓN AL CASO DE ÁGREDA

10. DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. APLICACIÓN AL CASO DE ÁGREDA

Los continuos avances tecnológicos, de la informática y de la captura de datos están contribuyendo al avance de cómo es percibido el Patrimonio Cultural tanto por investigadores como por turistas y usuarios del patrimonio. En la actualidad, la documentación gráfica del patrimonio debería estar basada en la dinamización e interpretación del mismo, asegurando de este modo un desarrollo sostenible de la cultura. No se ignora que los proyectos patrimoniales tienen una clara dimensión social. La sociedad del ocio cada vez más, consume y demanda cultura. Por lo que podemos desarrollar y mejorar los métodos para hacer más accesible la cultura al ciudadano y de esta forma, fomentar el turismo. Además, existe un extenso legado patrimonial situado en zonas rurales que queda fuera de las rutas turísticas de las grandes ciudades, como ocurre en el caso de Ágreda. Es por ello necesario activar las vías necesarias para dar a conocer y poner en valor toda esa riqueza patrimonial potencialmente interesante mediante el trabajo de reconversión del patrimonio en un producto cultural que identifique a su población y sirva de desarrollo cultural a través del turismo (Baeza 2011). Asimismo se propugna en la Carta de Atenas referente a la puesta en valor de los monumentos, acercando y dando proximidad a los monumentos más antiguos (López 1987).

Marcelo Martín (2007) ofrece una interesante definición de la difusión. Determina que es la actividad que permite convertir al objeto patrimonial en producto patrimonial⁶⁸, a través de un proyecto que materialice la definición conceptual del bien, convirtiéndolo de esta forma, en un mensaje apropiable e inteligible, cuya transmisión esté comprendida en un proceso de identificación y satisfacción de las necesidades del usuario. Por ello se tienen que dar conjunto de actividades dedicadas a dar a conocer, valorar y facilitar el acceso al público al patrimonio cultural. Y por último, apunta que los resultados de cualquier investigación sobre un bien patrimonial tendrían que estar ofrecidos al ciudadano en alguna forma de promoción del patrimonio cultural para ser los testigos de lo que les ocurre a los bienes.

Antes del avance de las tecnologías, los objetivos de la Carta de Ename (Carta de ICOMOS para la Interpretación y Presentación de los Sitios del Patrimonio Cultural) eran a menudo difíciles de integrar por el carácter estático y de rigidez, ya que la presentación del patrimonio, en su mayoría se hacía mediante paneles expositivos. En las actividades que hoy se llevan a cabo sobre el patrimonio tienen mucho que ver las Tecnologías de la Información y Comunicación. Las TICs juegan un papel importante en la divulgación del patrimonio, hacen que las personas se apropien de conocimientos históricos existentes en todo el mundo mediante aplicaciones

⁶⁸ Producto patrimonial es un sistema integrado mediante estrategias de interpretación, presentación, exhibición, conservación y promoción, que tenga como objetivo producir un complejo de mensajes, actividades y equipamientos que brinde al visitante una serie de pautas cognoscitivas, informativas y lúdicas para que satisfaga eficientemente su demanda de ocio cultural en su tiempo libre. Y será el resultado de la puesta en valor, planificación integrada y gestión cultural (Martín 2007).

sobre contenidos culturales. A tal respecto, este capítulo se va a dedicar a realizar un recorrido por las más importantes aplicaciones usadas para la difusión del patrimonio.

Dichos avances mencionados sobre las tecnologías, hacen que pequeños dispositivos como *smartphones*, *tablets* y gafas, incluyan cámaras integradas, sistemas de posicionamiento y rápidos procesadores, contribuyendo de esta forma a hacer que la Realidad Aumentada (RA) se encuentre al servicio de la educación y del turismo. Diversos ejemplos se van a verificar, como consultar el patrimonio tridimensional desde Internet mediante *Google Earth*, hacerlo disponible mediante entornos web, mostrar cualquier parte del mundo mediante fotografías 360° y crear marketing 3D a través de mundos virtuales que permiten la interactividad. Éstas son varias de las innovaciones tecnológicas más avanzadas destinadas a la difusión del patrimonio y todas ellas en conjunto son una fuente de recursos al alcance todos. Precisamente, este capítulo pretende alcanzar un adecuado desarrollo en utilización de las TICs, mediante aplicaciones, servicios y contenidos para contribuir a la accesibilidad, competitividad, promoción y calidad por parte de los ciudadanos hacia el patrimonio.

10.1. REALIDAD AUMENTADA

En las dos últimas décadas, la Realidad Aumentada (RA) ha vivido un proceso de auge imparable paralela al incremento del potencial y capacidades reales de las nuevas tecnologías. La realidad aumentada ayuda a dar a conocer de una forma interesante al Patrimonio Cultural y ha demostrado ser una magnífica herramienta de difusión cultural gracias a que permite llegar a todo tipo de público de una manera fácil y accesible. Ofrece gran flexibilidad técnica, permite personalizar contenidos y se muestra respetuosa con los bienes culturales originales. Además ayuda a mejorar la comprensión a los visitantes, resultando espectacular y llegando a transmitir más información por menos tiempo.

En resumen, se podría definir como *una herramienta con gran proyección para la puesta en valor del patrimonio, que se adapta a las necesidades de este tipo de entornos, facilitando la tarea de difusión de contenidos mediante experiencia didáctica y atractiva que se inserta en la dinámica de nuestra sociedad* (Ruiz 2013).

La Realidad Aumentada es el término que se usa para definir una visión de un entorno físico en el mundo real, cuyos elementos del mundo real se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta en tiempo real. Otra forma de expresarlo es que, en los entornos de realidad aumentada, el espacio que envuelve está formado principalmente por objetos reales a los que se añaden objetos virtuales. De esta forma se construyen nuevos ambientes coherentes, integrados y enriquecidos, de una forma similar a los efectos logrados en la película “¿Quién engañó a Roger Rabbit?”. Para que esto ocurra, son necesarios una serie de

dispositivos que añadan información virtual a la información física ya existente, nunca reemplazándola, y proporcionándole interactividad al mundo real. Es importante no confundir la realidad aumentada con la realidad virtual.

Sin embargo, la realidad virtual se definió como un entorno generado por un ordenador, interactivo, tridimensional en la cual se introduce a la persona en un entorno artificial, quedando aislado del mundo que le rodea. Fue acuñada por Jaron Lanier, fundador de *VPL Research*. Asimismo, el entorno virtual es una escena en tres dimensiones generada por un ordenador con alta capacidad para dar un nivel de realismo. Además el usuario se encuentra inmerso en este entorno virtual que es interactivo y puede intervenir en tiempo real. La principal diferencia entre la realidad virtual y la realidad aumentada, es que en esta segunda, no se sustituye la realidad física, sino que superpone los datos informáticos al mundo real siendo el usuario conocedor de lo que ocurre a su alrededor, es decir, la diferencia está en el tratamiento que se hace del mundo real (fig. 108).

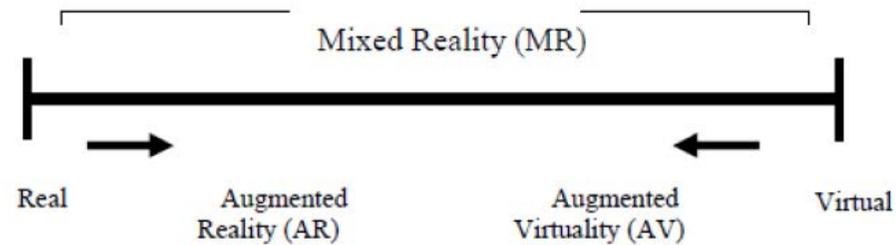


Figura 108. Continuo de la virtualidad. Fuente: Milgram et al. (1994).



Figura 109. Logo de realidad aumentada. Fuente: [<http://www.esedeerre.com/ejemplo/0/166/logo-para-realidad-aumentada>].

Un ejemplo de realidad virtual es el CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*). Es un sistema en el que se visualizan imágenes en un espacio cerrado, sin luz y con las paredes pintadas de negro. Se proyectan simultáneamente seis imágenes sobre tres pantallas blancas, se usan polarizadores en los cañones de proyección y para que los visitantes tengan la sensación de ver en 3D, se utilizan unas gafas HMD (*Head Mounted Display*). Esta técnica ofrece una gran sensación de realismo y permite moverse con cierta libertad hasta 5 o 7 personas simultáneamente por el interior de la sala. Las dimensiones y cualidades del sistema son aprovechadas para simular que te encuentras dando un paseo por una calle del viejo arrabal musulmán o que viajas en el último modelo de tren de alta velocidad.

Retornando a la Realidad Aumentada (AR) (figura 109), Tom Caudell fue quien le dio nombre y Ronald Azuma fue la primera figura en darle una definición. Se publicó en "*A survey of augmented reality*" (Azuma 1997), y establecía que un sistema de realidad aumentada es aquel que:

- combina mundo real y mundo virtual
- es interactivo en tiempo real
- se registra en tres dimensiones

Parece justo utilizar el calificativo “aumentada”, puesto que esta tecnología amplifica las capacidades de percepción humanas, desglosa la realidad física en sus distintas dimensiones para facilitar la captación de determinados componentes, en ocasiones no perceptibles por los sentidos, generando así modelos que simplifican la complejidad multidimensional del mundo.

Por este motivo, un sistema de realidad aumentada necesitará de un dispositivo para recoger la información sobre la realidad, de una máquina para crear imágenes sintéticas, de un procesador más un *software* para procesar la imagen real añadiendo información virtual, y por último de una pantalla para proyectar la imagen final. Dependiendo del tipo de dispositivo que se utilice, se llevará a cabo una mejor combinación entre la imagen virtual y la real. Existen dos variantes posibles, la utilización de una tecnología óptica o la utilización de una tecnología de vídeo. En los *displays* de tipo óptico, como las lentes reflectantes⁶⁹, los gráficos generados por ordenador son superpuestos a la visión del usuario, por lo que requieren tareas más complejas de calibración y registro. Actualmente el recurso que se utiliza y que está en desarrollo son las *Google Glasses*. En cambio en el *display* de vídeo, como cascos con monitores⁷⁰ o monitores externos⁷¹, la imagen virtual es superpuesta a una imagen de vídeo del entorno real, capturada por una cámara (Azuma 1997). Las ventajas de usar un *display* óptico son su simplicidad, puede alcanzar gran resolución, son seguros al usuario y no hay visión desviada por estar situada a la altura de los ojos. En cambio, los *display* de vídeo son flexibles a la hora de componer las imágenes ya que el óptico no cubre del todo a la realidad real, tiene un mayor campo de visión, dispone de una buena sincronización de retrasos virtuales y reales y puede digitalizar la imagen real para generar elementos virtuales.

Lo que hasta hace poco tiempo era una tecnología experimental, restringida al entorno de técnicos expertos e investigadores, se hace cada vez más accesible. En la actualidad, diversos dispositivos ya están disponibles para cualquier usuario (*smartphones*, consolas de videojuegos, PDA y *tablets*, etc.) cuentan ya con las herramientas necesarias para implementar realidad aumentada. Como veremos más adelante, los recursos para el patrimonio que requieren de espacios abiertos y contextos urbanos, utilizan dispositivos como *smartphones* o *tablets*, porque presentan características de posicionamiento, es decir, disponen de GPS o acelerómetros (sensores inerciales) para el emplazamiento del usuario en el entorno y características de seguimiento como

⁶⁹ Las lentes reflectantes son lentes parcialmente transparentes. Las imágenes virtuales se reflejan en las lentes pero sigue percibiendo la realidad del entorno.

⁷⁰ Cascos con monitores: combina un monitor que hace de lentes con una cámara. La cámara capta el mundo real y la combina con la virtual para sacarla por el monitor. Un ejemplo son los *Head-mounted displays* (HMD).

⁷¹ Monitores externos: una cámara de vídeo graba el entorno real y en un monitor reproduce lo captado más la imagen virtual.

compases o brújulas (sensores magnéticos) y giróscopos e inclinómetros (sensores inerciales) para apuntar la dirección del punto de vista del usuario (Ruiz 2013).

Uno de los campos donde se proyectan las aplicaciones de la realidad aumentada, es el de la educación. La realidad aumentada es una tecnología capaz de aportar transformaciones significativas en la forma en que los estudiantes perciben y acceden a la realidad física, proporcionando así experiencias de aprendizaje más ricas. Representa un salto cualitativo en la forma de entender los contenidos de aprendizaje, puesto que aporta nuevas formas de interacción con lo real (físico) a través de capas digitales de información que amplían, completan y transforman en cierto modo la información inicial. También a la inversa, es posible involucrar objetos físicos en un entorno virtual. Las posibilidades de aplicación asociadas al desarrollo de materiales didácticos y actividades de aprendizaje son múltiples, directas y fáciles de imaginar en prácticamente todas las disciplinas, sobre todo, las relacionadas con las ciencias aplicadas (ingeniería, química y física, biología), pero también en el campo del diseño industrial, la cirugía, la arqueología, la museología y el patrimonio. César Carreras (2009) en su libro de “Evaluación TIC en el patrimonio cultural: metodologías y estudios de casos” expresa los condicionantes que tiene un proyecto de *e-learning*⁷² en el proceso educacional:

- El uso de la AR en la educación facilita un aprendizaje más envolvente, ya que fomenta cambios en los visitantes de percepción (por ejemplo, en la forma en cómo los usuarios leen el paisaje y su patrimonio).
- AR proporciona una comprensión de procesos complejos y dinámicos (por ejemplo, técnicas de simulación y reconstrucción) que enriquecen la presentación del patrimonio para los diferentes niveles de interpretación.
- AR permite el modelado en 3D de los objetos físicos, tales como elementos del patrimonio y la creación de animaciones que pueden interactuar con el usuario. Estos objetos se pueden colocar en cualquier ubicación.
- AR permite la ampliación de la información de cualquier gráfico o imagen, anteriormente representado en papel (libros aumentada).

Otro de los grandes potenciales de la realidad aumentada es proporcionar experiencias de aprendizaje fuera del aula, más contextualizadas, creando puentes entre la realidad y la situación de aprendizaje en la que participan los estudiantes. Cualquier lugar físico puede convertirse en un escenario de formación estimulante, basado en el mundo real y, por lo tanto, proporcionar aprendizajes más significativos. En localizaciones históricas, por ejemplo, los estudiantes de arqueología, historia, antropología, etc. pueden acceder a aplicaciones que reconstruyan dicha localización, mediante mapas, gráficos y otras informaciones, en diferentes momentos de la historia. También los museos pueden convertirse en espacios interactivos de autoaprendizaje, extraordinariamente inmersivos. En este campo hay que destacar diversas iniciativas desarrolladas por universidades españolas, como la Pompeu

⁷² El aprendizaje electrónico (*e-learning*) es la educación a distancia completamente virtualizada a través de los nuevos canales electrónicos (las nuevas redes de comunicación, en especial Internet), utilizando para ello herramientas o aplicaciones de hipertexto (correo electrónico, páginas web, realidad aumentada, etc.) como soporte de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Fabra y la Rovira i Virgili, de Cataluña. También en la Universidad Politécnica de Valencia, donde el Grupo Futurelab ha desarrollado un prototipo de realidad aumentada que permite acceder a las reconstrucciones virtuales de monumentos singulares y obtener la imagen en dispositivos PDA, teléfonos móviles y ordenadores.

La aplicación de la RA en terrenos como la arqueología puede permitir, por ejemplo, pasear entre los restos y ver su estado original tridimensionalmente. Además, a diferencia de la realidad virtual, la realidad aumentada brinda la oportunidad de formar parte del fenómeno, del entorno o del objeto estudiado y de entrar en la realidad que lo recrea.

La realidad aumentada también puede utilizarse para modelar objetos en 3D sobre planos físicos, que resulta útil para analizar la composición de dichos objetos. Sobre una imagen que el software toma como “ancla”, se muestra el modelo creado en 3D. Este modelo animado puede ser entonces manipulado y controlado mediante el teclado o ratón, haciendo que sea posible interactuar con él. De esta forma, los estudiantes pueden visualizar un objeto en diferentes escenarios, recibiendo una respuesta visual inmediata sobre sus diseños e ideas, que les permite detectar anomalías o problemas que deban resolverse. Un ejemplo de este tipo de prácticas se encuentra en el Colegio Mauricio De Nassau de Brasil, donde los estudiantes de arquitectura utilizan la RA para proyectar modelos de escaleras de edificios. O como el proyecto *Mobile learning* que se puso en marcha en el campo de la arquitectura y construcción en dos universidades de Barcelona. Llevaron a cabo el estudio sobre varios temas arquitectónicos usando la realidad aumentada por grupos. Se evaluaba el nivel de aprendizaje adquirido por parte de los estudiantes que la utilizaron y los que no (Redondo et al. 2014).

Como se verá a continuación, hay dos formas de trabajar con la realidad aumentada, la primera a estudiar es el *Tracker-less*, en la que se reconocen rasgos naturales para la interacción con objetos virtuales y la segunda mediante el uso de marcadores.

10.1.1. TRACKER-LESS: RECONOCIMIENTO DE RASGOS NATURALES

Los dispositivos móviles y *tablets* se utilizan cada vez más como interfaces eficaces de los sistemas de realidad aumentada. La cámara y la pantalla integradas en los teléfonos inteligentes permiten captar amplios campos visuales, que mediante otros dispositivos son editados para insertar objetos digitales, combinándolos con los datos del mundo real. Las aplicaciones sin marcadores utilizan datos posicionales obtenidos, por ejemplo, a través de un GPS móvil y una brújula, o mediante sistemas de reconocimiento de imágenes, basados en contrastar lo que capta la cámara con una biblioteca de imágenes previas. Cuando el usuario con la cámara apunta y detecta la misma imagenpatrón del entorno real, se asocia el entorno virtual y sobre-impresiona información relevante en los puntos de la pantalla adecuados. Las aplicaciones sin marcadores, además, permiten un uso más versátil, puesto que funcionan en todas partes, sin necesidad de disponer de un etiquetado especial o puntos de referencia complementarios y es útil en para aplicaciones patrimoniales porque no alteran el medio (fig. 111).

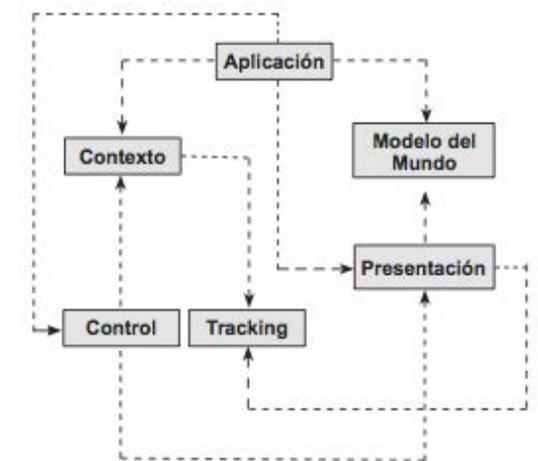


Figura 110. Arquitectura de referencia de Brügg. Fuente: Agudelo (2005).

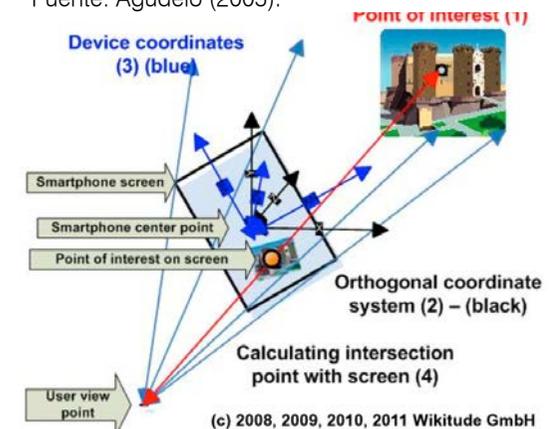


Figura 111. Wikitude calcula la posición de objetos virtuales en la pantalla de la cámara móvil basado en GPS, brújula, y sensores de movimiento. Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wikitude]



Figura 112. Dama de Elche visualizada a través de *Google Glass*. Fuente: [https://www.youtube.com/watch?v=HDZLufYv47Y].



Figura 113. Layar, aplicación gratuita para la ciudad de Segovia. Fuente: [http://www.turismocastillayleon.com/cm/turcyl/tkContent?idContent=558452&textOnly=false&locale=es_ES].

Brügge et al. (2002) presenta un resumen de las arquitecturas de sistemas *software* de realidad aumentada sin marcadores definidos anteriormente. El diagrama y dependencias que se observa en la figura 110, está compuesto por diversos componentes que en mayor medida se han descrito anteriormente. Estos componentes son: una aplicación que maneja la lógica y los contenidos específicos del sistema; el proceso de *tracking*, que determina la posición de los usuarios y los objetos; el área de control en donde se procesan las entradas de los usuarios; la presentación, quien se encarga de la representación gráfica; el contexto, en donde se recogen diferentes datos del contexto; y finalmente el modelo del mundo, que es la información almacenada de los objetos virtuales y reales.

El año pasado salió al mercado un *display* óptico llamado *Google Glass*. Son un dispositivo de visualización tipo *Head-mounted Display* (HMD) desarrolladas por *Google*. El propósito de este dispositivo es mostrar a través de sus lentes transparentes información de cualquier tipo. También se podrían llamar “gafas de realidad aumentada” porque contiene todos los dispositivos para originarla, cuenta con una cámara, *wi-fi*, *bluetooth*, un giróscopo, un acelerómetro, un sensor geomagnéticos, sensores de luz ambiente, de proximidad interno y un sistema de inducción ósea para la transmisión de sonido. Se basa en el sistema operativo de *Android 4.0.4*. Una de las primeras aplicaciones de realidad aumentada para *Google Glass* relacionada con el patrimonio ha sido la que ha realizado la empresa *Droiders*. Se trata de una guía impresa en papel, cuyas imágenes están vinculadas a un modelo en tres dimensiones. Cuando la cámara de las gafas apunta a la imagen, aparece el modelo tridimensional sobre la lente (figura 112). No son las únicas, cada día son más las empresas que dedican esfuerzos a estas tecnologías como las gafas de la compañía *Osterhout Design Group*, o como las *Oculus Rift*. Es uno de los dispositivos que revolucionará nuestra vida cotidiana haciendo más evidente la realidad aumentada en el día a día.

Mirando hacia atrás, una de las primeras aplicaciones que aparecieron sobre realidad aumentada y *tracker-less* fue *Wikitude*. Es un navegador de realidad aumentada que conecta al usuario con el mundo que le rodea. Funciona activando la cámara del *smartphone*, apuntando sobre distintas zonas que el *software* tiene identificadas y calcula la posición de los objetos virtuales mostrándolos en la pantalla. Se utiliza principalmente para ofrecer información de calles y edificios colocando etiquetas virtuales sobre ellos y proporcionando información adicional, como fotografías e información de *Wikipedia*.

Layar es otra de las aplicaciones de realidad aumentada para teléfonos móviles *Android* e *iPhone*. La aplicación móvil de *Layar* contiene capas de contenido (*layers*) que pueden incluir puntuaciones, críticas, publicidad, etc. desarrolladas de forma libre por millones de creadores en este momento. Actualmente, muchas de las ciudades españolas se está sumando a la aplicación, como por ejemplo el caso de Segovia (fig. 113). Otra aplicación, *Tagwhat* permite a los usuarios crear su propio contenido de RA, geolocalizarlo y compartirlo con personas en cualquier lugar del mundo, de manera rápida, fácil y gratuita. Esta misma aplicación facilita además la integración con *Twitter*, *Facebook*, *YouTube* y *Google Maps*. O *Zugstar*, un sistema de videoconferencia en línea desarrollado por la empresa *Zugara*, que permite a los usuarios compartir una experiencia de realidad aumentada.

Otra de las aplicaciones sumadas a la identificación por rasgos naturales son las reconstrucciones virtuales aumentadas. Consisten en la reconstrucción virtual de elementos del pasado a partir de los restos conservados, sin precisar ninguna marca sino reconociendo los rasgos naturales e insertando los gráficos virtuales directamente sobre la escena real, permitiendo actuar sobre el original sin ser intrusivo (Ruiz 2013).

Uno de los ejemplos más representativos es el proyecto *Archeoguide* (*Augmented Realitybased Cultural Heritage On-site Guide*) desarrollado por el *Fraunhofer Institute of Computer Graphics* (IGD) (figura 114). Presenta a los visitantes del sitio arqueológico de Olympia en Grecia, las reconstrucciones virtuales de sus templos desaparecidos en tiempo real por medio de dispositivos HMD. Los visitantes sólo están equipados de unos dispositivos de mano, que sitúan la mira exactamente sobre las ruinas y proyecta los modelos renderizados en la pantalla, determinando la posición y orientación según la visualización de las ruinas (Glue y Dähne 2001). Para ello necesita de la combinación de varios sistemas de posicionamiento y registro (GPS y reconocimiento óptico de marcadores) con acceso remoto a datos mediante una red WLAN.

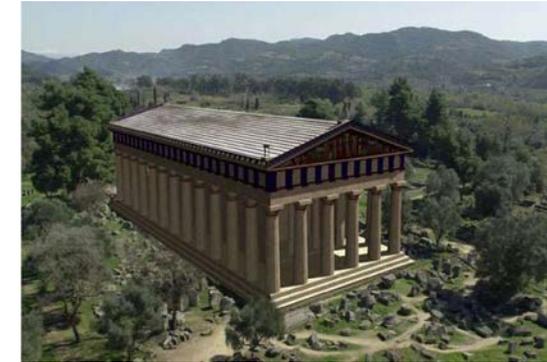


Figura 114. Proyecto Archeoguide. Fuente: Glueu y Dähne (2001).

En este sentido, continuando con la línea del caso de estudio, se propone el desarrollo de un prototipo de realidad aumentada. La aplicación va facilitar la visualización dinámica y de manera intuitiva un símbolo desaparecido desde el año 1990 y situado en el centro de la Plaza Mayor de la villa de Ágreda. Con esta aplicación se pretende, devolver a la memoria de todos los agredesños el quiosco de la música. El recurso planteado cumple con el objetivo de que el usuario pueda ser capaz de visualizar el objeto tridimensional en su antigua posición y entender cómo fue su morfología en tiempo y espacio reales.

Este quiosco de la música fue la imagen de la arquitectura popular de la villa. Todos los domingos se realizaban pequeños conciertos amenizados por la banda municipal (figura 115). Se componía por una planta octogonal, un basamento hasta una altura de un metro y medio y ocho columnas de ladrillo que sustentaban la cubierta.

Los requerimientos básicos para crear la aplicación de realidad aumentada mediante el reconocimiento de rasgos naturales son: una cámara web, un navegador de un dispositivo móvil, un *software* basado en sistemas de posicionamiento GPS y un *software* de modelado tridimensional.

La creación del modelo tridimensional se ha realizado con *Rhinoceros* a partir de varias fotografías antiguas. A través de las dimensiones reales de las fachadas de los edificios de la plaza, se han obtenido las proporciones de planta, las alturas de los distintos elementos y la posición que ocupaba en la plaza. Se han introducido una serie de texturas para proporcionar mayor realismo, como un mapeado de ladrillos en tonos rojizos en los pilares, un mapeado en tonos marrones en la celosía de madera y



Figura 115. Vista desde el ayuntamiento de la plaza mayor con el antiguo quiosco. Fuente: Archivo Ayuntamiento de Ágreda.

otro mapeado de teja cerámica en la cubierta. La exportación ha sido con la extensión *.dae*⁷³. Es el archivo que va a contener el modelo en 3D para poder ser codificado por la aplicación de realidad aumentada.

Los navegadores calculan la posición del usuario en base a sus coordenadas mediante la brújula digital, el acelerómetro y la conexión a internet. El *software* basado en sistemas de posicionamiento GPS que se va a utilizar se llama *Junaio*, de la empresa Metaio. Consiste en el reconocimiento óptico de imágenes, además mediante canales de información puede tener varias imágenes pre-configuradas por medio de un servicio web, que el dispositivo reconoce y utiliza para sobreponer el objeto. Uno de los canales permite fotografiar cualquier imagen (Sánchez 2013). En este caso, se va a fotografiar la fachada del ayuntamiento y va a servir de marcador para su registro con el modelo del quiosco preestablecido.

La cámara captura imágenes de la fachada del ayuntamiento, el GPS determina la posición exacta y la brújula la dirección en la que se está mirando. La aplicación toma el objeto tridimensional del quiosco de la base de datos y lo superpone encima de la pantalla del *smartphone* o *tablet* como se muestra en la figura 116.

Este tipo de aplicaciones tienen una serie de ventajas como es la facilidad de uso, también que son sistemas accesibles en cualquier momento y se puede utilizar cualquier imagen como marcador. Pero en contra tienen que no se pueden utilizar modelos con más de 2.000 polígonos, son inestables en condiciones lumínicas poco favorables, a veces el nivel de realismo puede ser poco real y puede no funcionar al usar una imagen distinta a la utilizada de referencia.

⁷³ *.dae, es la extensión que utiliza COLLADA (from collaborative design activity). es un formato de archivo de intercambio para aplicaciones 3D interactivas.



Figura 116. Ejemplo de visualización mediante una *tablet* el modelo tridimensional del quiosco desaparecido de la plaza Mayor utilizando la imagen del edificio del ayuntamiento como marcador de posición. Fuente: elaboración propia.

10.1.2. MARCADORES

El reconocimiento de marcadores es uno de los recursos más importantes de la realidad aumentada destinadas al patrimonio cultural. Permite con una interfaz sencilla interactuar con los objetos virtuales, siendo especialmente útil en entornos educativos y museísticos.

Las aplicaciones basadas en marcadores, funcionan mediante la búsqueda de patrones y su reconocimiento. A estos patrones se les llama marcadores. Pueden ser símbolos, códigos de barras o códigos QR, que el sistema reconoce mediante su geometría, su color o ambas características. Al reconocer el patrón del marcador, en su posición se superpone una imagen digital en la pantalla. Una cámara de un móvil o webcam toman la imagen del marcador fotograma a fotograma, el *software* lo procesa y localiza patrones de la imagen del código reconocibles, interpretando y mezclando la imagen real con su parte virtual, de manera que muestra sobre el marcador el objeto vinculado en tres o dos dimensiones.

El funcionamiento se basa en la captura por la cámara de vídeo de la marca, reconoce el borde negro del marcador y lo transforma en una imagen binaria. Este *software* cuenta con una base de datos y un algoritmo eficiente para evitar muchos cálculos en tiempos de ejecución. Reconoce la orientación y posición de la marca con respecto a la cámara e identifica el patrón de la marca con respecto a plantillas que tiene registradas en su *software*, generando el objeto virtual tridimensional que previamente se ha vinculado. El tamaño y orientación del objeto renderizado dependerá de cómo esté colocado el marcador respecto a la cámara. Si se sale de los límites del visor de cámara, no aparecerá en la escena (Cawood y Fiala 2008; Kato y Billinghurst 1999; Zhou et al. 2008).

Es idóneo como recurso educativo porque enlaza el aprendizaje con el entretenimiento. A esta actividad se le ha acuñado con el nombre de *edutainment* (*education + entertainment*), es decir, sirve para el diseño de actividades que conjugan la educación y la diversión. Es útil y atractiva para este fin porque permite explorar modelos virtuales tridimensionales como si fueran reales, simplemente con el uso de un ordenador o *smartphone*.

Uno de los ejemplos educativos vinculados con el patrimonio, es el libro interactivo que realizó Arpa-Solutions en 2007 sobre los Monumentos Andaluces. Un libro interactivo es aquel que contiene información virtual mezclada con información del tipo convencional. Para ello, el monumento que se muestra en la fotografía (figura 117) aparece en la pantalla cuando una cámara captura el marcador y un *software* se encarga de ejecutar la aplicación (Ruiz, Ación y Vázquez 2007). Con ello, se consigue que el usuario pueda comprender la volumetría y concepción del monumento de una forma sencilla en el caso de no existir la posibilidad de visitarlo in-situ.



Figura 117. Libro Interactivo de Monumentos Andaluces. Fuente: Ruiz, Ación y Vázquez (2007).

Los fines educativos también los podemos extrapolar a los entornos museísticos. Los museos están haciendo un gran uso de los marcadores en sus exposiciones debido al carácter pedagógico, ya que abarca un amplio público por su sencillez de utilización. Este recurso invita al visitante a ser el protagonista en la instalación, por la interacción y el espectacular resultado que se obtiene. Se presenta como un recurso atractivo y a la vez pedagógico (Ruiz 2011). Esta tecnología ayuda a los museos a crear, manipular, administrar y exhibir objetos culturales digitalizados en exposiciones virtuales que en otras ocasiones hubieran aparecido en vitrinas a como maquetas arquitectónicas. La utilización de estos mecanismos es poco costosa, ya que sólo se requiere de una cámara, una pantalla y un ordenador. Este motivo ha ayudado a la proliferación de instalaciones con marcadores que abarca no sólo los museos, sino también centros de interpretación y hasta exposiciones temporales.

La biblioteca de modelos tridimensionales podría estar suministrada no sólo de los elaborados propiamente para este fin, sino que también aquellos levantamientos que se han realizado para otros fines y que han capturado fielmente al bien, como por ejemplo en los casos de documentación o proyectos de rehabilitación, en los que se ha utilizado la fotogrametría o el láser escáner, como se hizo en el Pórtico de la Gloria. La primera fase del plan de conservación preventiva y la propuesta de intervención integral del pórtico, generó una documentación tridimensional capturada por un láser escáner y un denso reportaje fotográfico. Ello permitió que en 2010 se realizase una visita guiada con medios interactivos por el Pórtico de la Gloria Virtual.

Para evidenciar lo expuesto y demostrar que una de las cabidas de levantamiento del patrimonio cultural es la difusión, en este apartado se van a emplear los modelos generados en apartados anteriores para tal fin, situado en el ámbito museístico. Para mostrar la sencillez del recurso, se propone un prototipo para una instalación de exposiciones en la "Torre-museo" de la Muela mediante el uso de marcadores de los edificios más representativos de Ágreda. Asimismo se va a utilizar un lenguaje y nivel de programación básico capaz de demostrar las características de la realidad aumentada con una serie edificaciones históricas.

Los requerimientos básicos necesarios para crear esta aplicación son: una cámara web, librerías de realidad aumentada, un *software* de modelado tridimensional y una librería de marcadores.

En cuanto a las librerías de Realidad Aumentada, existen en el mercado varias aplicaciones como *ARToolKit* o *MXRToolKit*, *Artag*, *Amire*, *BuildAR*, *Mr. Planet*, *AndAR* y *Aumentaty*. Esta última es la empleada para el diseño de esta actividad. *Aumentaty Autor* es una biblioteca que permite la creación de aplicaciones de realidad aumentada, donde se sobrepone imágenes virtuales al mundo real. Para ello, utiliza las capacidades de seguimiento de vídeo, con el fin de calcular, en tiempo real, la posición de la cámara y la orientación relativa a la posición de los marcadores físicos. Así *Aumentaty* resuelve dos de los principales problemas en la realidad aumentada, el seguimiento de punto de vista y la interacción objeto virtual. Este programa dispone de una librería de marcadores predeterminada y se han utilizado tres de ellos.

El objeto aumentado es un modelo tridimensional ubicado en un archivo que contiene la información geométrica y los atributos de la superficie del objeto. Los gráficos en 3D almacenan la posición de puntos, líneas y las caras que conforman un polígono en un espacio de tres dimensiones. El *software* con el que se generó el objeto tridimensional ha sido *Rhinoceros*⁷⁴. El archivo que contiene la escena 3D comprende la información necesaria para identificar y posicionar los modelos, cámaras y luces para su renderización. La salida del modelo en este caso, ha sido en .3ds. Se han elegido tres modelos, el Torreón de la Muela, el arco califal y la iglesia de San Miguel, descritos en capítulos anteriores el procedimiento de su levantamiento. Cada uno de los modelos se importa a la librería y se enlaza a una marca que viene por defecto en el propio programa (figura 118).



Figura 118. Marcadores. Fuente: elaboración propia.

Para la instalación sólo se requiere de un ordenador con las escenas instaladas en *Aumentaty Viewer*, una pantalla y una cámara. Cuando la cámara enfoca a las marcas, el resultado es el siguiente (fig. 119).

⁷⁴ El *software* utilizado en los levantamientos realizados por fotogrametría ha sido *Photoscan*. Con la ayuda de *Rhinoceros* se han maclado las distintas mallas texturadas y se ha realizado el escalado del objeto.



Figura 119. Modelos tridimensionales sobre los marcadores vinculados. Fuente: elaboración propia.

A la hora de generar los modelos hay que tener en cuenta que el centro de la marca es el origen de coordenadas del modelo y la orientación XY, será también la vertical de la marca. Para adaptar los modelos a la pantalla, el propio programa permite escalar y orientarlos a las posiciones deseadas.

El programa está preparado para soportar geometrías de hasta 200.000 polígonos como en el caso de la iglesia de San Miguel. Se recomienda la utilización de modelos más reducidos para no afectar a la capacidad de respuesta.

Además del museo in-situ, se propone un museo virtual con las mismas piezas pero esta vez la instalación se podría visitar desde internet, desde la web que gestiona los monumentos de Ágreda. Esta web permite interactuar con las mismas piezas pero desde otras localizaciones. El resultado sería la difusión del patrimonio de Ágreda sobre la red generando visitantes potenciales por el atractivo y la accesibilidad de la aplicación.

El alcance de estas instalaciones basadas en la tecnología de la realidad aumentada y su proyección dentro de este tipo de entornos, ya sean museísticos o educativos y la posibilidad de utilización de sistemas basados en componentes comerciales, ofrece todo tipo de ventajas que lo hacen un recurso económico y de fácil mantenimiento, confiriéndole un valor didáctico y lúdico. Los beneficios de esta instalación son posibilitar la manipulación de modelos virtuales de edificios originales como si fueran reales, aportando un punto de vista distinto al participante, por ejemplo, la visualización de detalles de partes menos accesibles como las cubiertas. Se puede decir que este recurso sustituiría al efecto provocado por una maqueta física, aunque actualmente las impresoras 3D pueden llevar al mismo nivel de realismo.

10.2. GOOGLE

Ya se ha comprobado que el mundo digital tridimensional está proporcionando oportunidades en la forma de acceder e intercambiar el conocimiento y la información del patrimonio arquitectónico. Un modelado fiel del Patrimonio Cultural ayuda a cualquier usuario a simular la realidad en un contexto imaginario y proporciona la oportunidad de utilizar modelos tridimensionales que se han creado para otros fines como se producía con la realidad aumentada. En este contexto, *Google* es un sistema económico, cultural y turístico que ofrece aplicaciones para acceder vía *online* a nuestra herencia cultural observable desde en un único globo virtual (Bonacini 2013). Y como expresa Conway (2010) *para una nueva generación de usuarios, Google representa el acceso anónimo a la información sin mediación humana*. Además referencia que es el fin de la conservación tal como la conocemos y estamos en la “era de *Google*”.

Google cada vez llega más lejos en cuestiones de comunicación digital del patrimonio gracias a las colaboraciones con instituciones nacionales e internacionales como la UNESCO, donde se trazan alianzas más importantes para la conservación y valorización del patrimonio.

Para la descripción de este sistema, se va realizar un recorrido entre las aplicaciones y proyectos más importantes de *Google* relacionados con la promoción del patrimonio cultural español. Entre ellas se encuentran *Google Maps*, *Google Street View*, *Google Earth*, y otras dos que no se van a tratar en este apartado como *Google Books*⁷⁵ y *Google Art Project*⁷⁶ que tienen que ver con la difusión documental y de fondos museísticos.

Google se ha convertido desde 2004, en un elemento clave para introducir geolocalización a través de *Google Maps* y *Google Earth*. El primero es un servicio de mapas web, basado en un sistema de cartografía tradicional con la opción de satélite, es decir, alberga la visualización del satélite real. El segundo, *Google Earth* es un sistema de visualización de imágenes satélite y fotografías aéreas de alta resolución, que permite la navegación a través de datos geoespaciales y el acceso a información externa por la activación de objetos seleccionables o por la activación de capas. Además, cada vez son más las ciudades que se pueden observar en formato tridimensional. Por otro lado, la calidad más alta de las fotografías aéreas se limita a las áreas de interés (por ejemplo, las grandes ciudades, zonas turísticas) y tienen el inconveniente de que no permiten el acceso a los metadatos, fecha de

⁷⁵ *Google Books* es un servicio de *Google* en el que busca el texto completo de los libros que digitaliza y los almacena en su base de datos en línea.

⁷⁶ *Google Art Project* es la plataforma donde museos e instituciones de todo el mundo ponen sus colecciones para que los usuarios puedan descubrir y contemplar obras de arte con alta resolución. Entre los museos españoles se encuentran el Museo Juan Cabré, el IAACC Pablo Serrano, el Museo de Huesca, el Museo de Zaragoza y el Museo Episcopal de Vic.

adquisición y su posible manipulación previa. En realidad, ambos se han convertido en una combinación de SIG e infraestructura de datos geográficos básicos de fácil acceso y con pocos requisitos para el aprendizaje (Schuch y Freire 2010).

La colaboración entre instituciones españolas y *Google*, ha dado como resultado el Catálogo Monumental de España en *Google Earth*. El catálogo se empezó a desarrollar por el Patronato Nacional de Turismo en 1928 hasta 1936. Dispone de más de 3.000 fotografías de aquel período, basadas en la temática del turismo y el patrimonio. Actualmente, el Archivo General de la Administración pone a disposición de cualquier usuario dicho catálogo mediante la instalación de un archivo con extensión .kmz, en *Google Earth*. Posibilita una búsqueda muy sencilla a modo de capas y con la opción de consultar todas las fotografías inclusive las de monumentos desaparecidos (fig. 120).

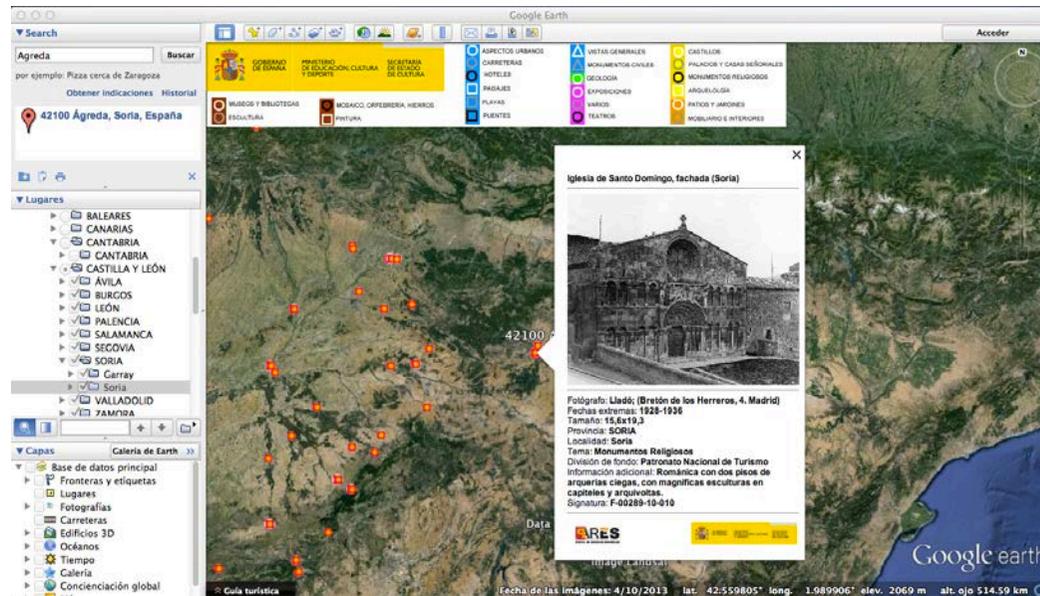


Figura 120. Catálogo Monumental de España. Fotografía de la iglesia de Santo Domingo (Soria). Fuente: elaboración propia.

Otra de las aplicaciones es *Google Street View*. Se trata de una solución híbrida entre la fotografía y una interfaz espacial de navegación. Permite navegar por calles, visualizar edificios en tres dimensiones y proporciona imágenes 360° de cualquier lugar,

gracias a la labor realizada por el empleo del *Google-car* y el *Google-trike*⁷⁷ en muchas de las ciudades y pueblos de todo el mundo.

Mediante el uso de este recurso, *Google* en 2009 crea una alianza de carácter internacional con la UNESCO y desarrollan el llamado *World Wonder Project*. En este proyecto se muestran imágenes e información de 138 lugares Patrimonio de la Humanidad situados en España, Francia, Italia, Reino Unido, la República Checa, Holanda, Japón, Brasil, México, etc. Las imágenes de 360 grados, están disponibles en la red para que usuarios de todo el mundo puedan observarlas a través de *Google Maps*. Dentro de España, las ciudades con este tipo de información son Cáceres, Cuenca, Salamanca, Ávila, Segovia, Toledo, Mérida y el camino de Santiago (fig. 121). Asimismo están señalizados con un icono y contienen una burbuja informativa dentro de la cual el usuario también encontrará un link a la página de la UNESCO para ampliar más información. Además de la colaboración de la UNESCO, cuenta también con el aporte del *World Museum Fund* y *Getty Images database* para la cesión de imágenes.

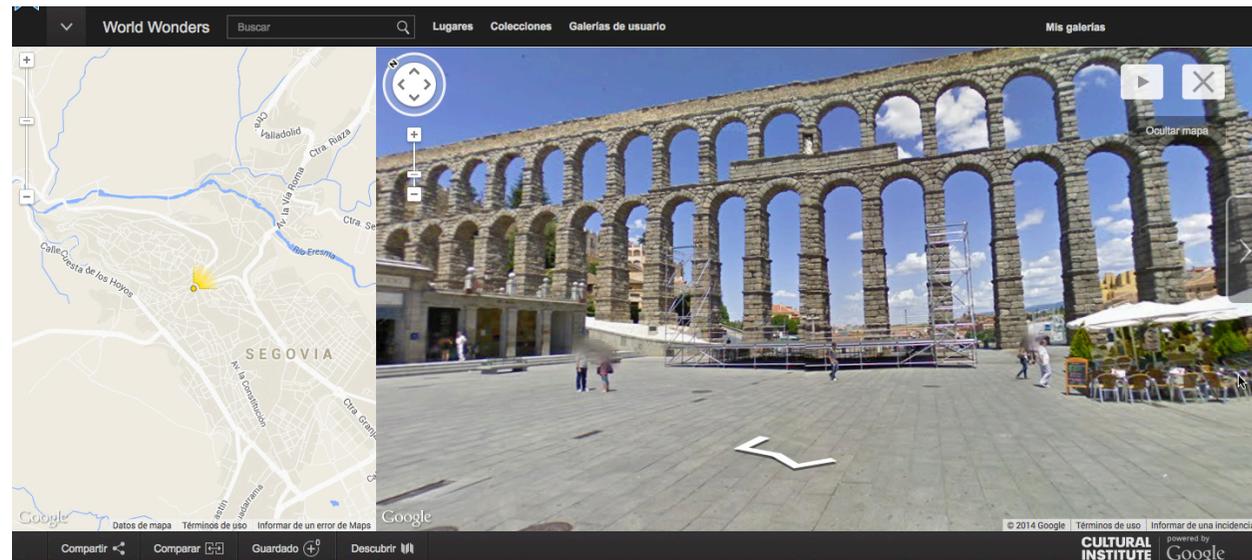


Figura 121. Visualización en 360° del Acueducto de Segovia en *Google World Wonders Project*. Fuente: elaboración propia.

⁷⁷ *Google-trike* es una bicicleta de tres ruedas equipada con una cámara y que por ejemplo se utilizó para capturar imágenes de la Catedral de Burgos.

Mediante el uso de *Google Earth*, se pueden crear recorridos virtuales en 3D para observar las reconstrucciones tridimensionales de edificios y conjuntos arquitectónicos, centros urbanos, yacimientos arqueológicos, paisajes, etc. Esta herramienta web ha revolucionado el entorno de los SIG en la medida que combina la visualización tridimensional con las características de un SIG (Gabrielli y Malinverni 2007). Hasta el 1 de octubre de 2013, *Google* permitía a la comunidad de usuarios poder subir sus propios modelos. Actualmente la empresa es la encargada del levantamiento tridimensional de todas las ciudades importantes del mundo. A pesar de ello, se puede subir y visualizar cualquier modelo disponiendo del archivo de referencia. Para generar este modelo se puede utilizar cualquier programa, pero *Sketchup* de *Trimble* (antes de *Google*) tiene la opción de guardar cualquier modelo en la extensión *.kmz y después abrirlo en *Google Earth*. Permite además la geolocalización con la coordinación de *Google Maps*, agregando la localización del entorno en *Sketchup* de donde estaría ubicado el modelo en la realidad proporcionando de esta forma las coordenadas geográficas al objeto.

Por lo general, la metodología del levantamiento de edificios que utiliza *Google* es a través de sólidos, prismas u otras formas, con las dimensiones en planta y altura. A estos sólidos, les coloca la información de fachadas y cubiertas mediante fotografías rectificadas. Por nuestra parte, se ha querido realizar la comprobación de la visualización desde *Google Earth* del modelo del Proyecto de Rehabilitación del Torreón de la Muela geoposicionado y con las relaciones de escala (figura 122). Es un modelo realizado en *Rhinoceros* a partir de un proyecto en el que se detallaban el interior hasta una escala de 1/10. Para este recurso, se ha simplificado lo máximo posible a su envolvente exterior por cuestión de tamaño, eliminando el interior porque no era necesario mostrar la complejidad de este espacio, pero sí manteniendo las texturas de los muros.

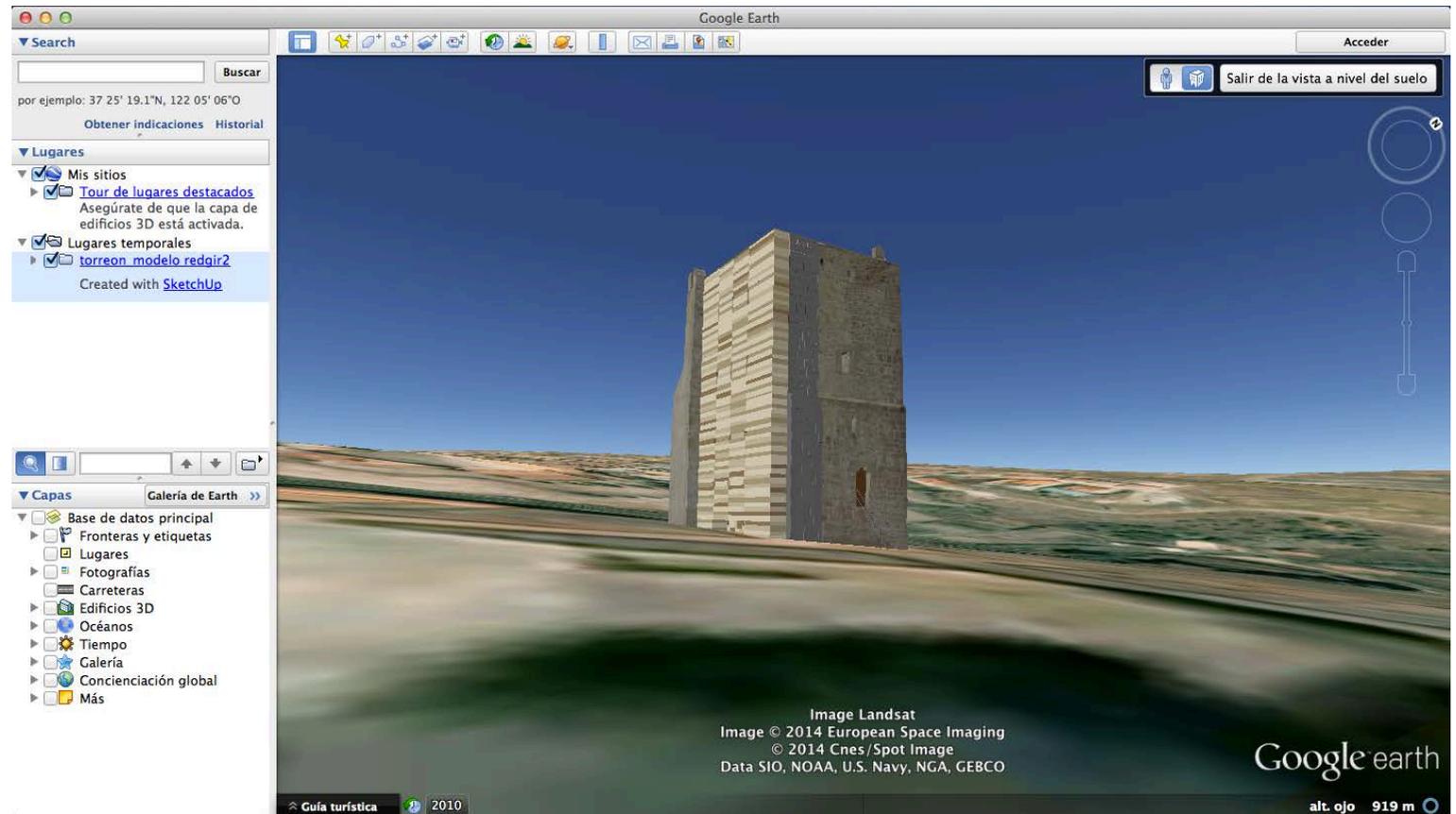


Figura 122. Modelo del Torreón de la Muela en Google Earth. Fuente: elaboración propia.

Además *Google* permite compartir el proyecto con la comunidad de usuarios desde la "Galería 3D" de *Sketchup* (<https://3dwarehouse.sketchup.com>). De esta forma, cualquier persona dispondría de esta visualización en su propio ordenador. Como se ve en la figura 123, en la página se muestra una vista previa del 3D, un mapa con su posición geográfica, una descripción y palabras clave.



Figura 123. Galería 3D de *Sketchup*. Fuente: elaboración propia.

A parte de los archivos .kmz, también se pueden utilizar los .kml. KML (*Keyhole Markup Language*) es un lenguaje de marcado basado en XML para representar datos geográficos en tres dimensiones. Fue desarrollado para ser manejado con *Keyhole LT*, precursor de *Google Earth* (*Google* adquirió *Keyhole LT* en octubre de 2004 tras lanzar su versión LT 2). Su gramática contiene muchas similitudes con la de GML. Un fichero KML especifica una característica (un lugar, una imagen o un polígono) para *Google Earth*. Contiene título, una descripción básica del lugar, sus coordenadas (latitud y longitud) y alguna otra información.

A modo de conclusión, la gran aspiración de *Google* es organizar la información mundial y hacerla universalmente accesible (Vaidhyathan 2011), es decir, es la ventana a través de cual se ve el mundo, en la que *Google*, como sujeto privado, hace de agente difusor del patrimonio cultural. Y como se ha visto, en colaboración con instituciones públicas del patrimonio para hacer de intermediario en la transmisión de conocimiento y en la preservación conjunta de éste.

Asimismo, se puede observar el potencial de *Google* si por ejemplo se realiza una visita virtual por los espacios y monumentos de la ciudad de Roma a día de hoy y la Roma del 320 a.c. a través de *Google Earth*.

10.3. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA: PANORAMAS ESFÉRICOS

Las imágenes sobre el Patrimonio Cultural ofrecen una fuente de información imprescindible para su protección, gestión, investigación y difusión. La documentación gráfica aporta un valor añadido a la información textual, por lo que se puede considerar una fuente para documentar el Patrimonio Cultural y de información para su estudio.

Las técnicas gráficas de documentación del patrimonio se encuentran en múltiples formatos y son muy precisas. Entre estas técnicas de representación gráfica se hallan la fotografía de alta resolución, el cine tridimensional y las imágenes panorámicas. Estas últimas son las que se van a tratar en este apartado.

La fotografía de alta resolución es un método de documentación que genera una imagen de alta calidad a gran formato. Da la posibilidad de alcanzar un gran detalle, mayor del que se pudiera ver a simple vista. Para ello es necesario de una cámara profesional en combinación con un equipo y sistemas de iluminación adecuados para la escena. De esta forma se puede llegar al detalle de elementos de estudio necesarios por ejemplo en un proyecto de conservación. Este tipo de fotografías también se utilizan en la restitución fotogramétrica, como en el ejemplo de la obtención de un detalle concreto de un edificio a una escala pequeña. En capítulos anteriores se veían los resultados de investigación sobre esta documentación gráfica, plasmados en recomendaciones técnicas para estandarizar metodologías de trabajo en la captura y parámetros de calidad utilizados que irán en consonancia del equipo para procesar la información y del tipo de documentación necesaria.

La documentación videográfica estereoscópica, lo que comúnmente se llama cine tridimensional, es una técnica que sirve para captar y visualizar las volumetrías tridimensionales de los bienes patrimoniales. La visión estereoscópica es capaz de recoger información visual tridimensional y crear la ilusión de profundidad mediante una imagen estereográfica o imagen tridimensional. La ilusión de la profundidad en una fotografía, película, u otra imagen bidimensional se crea presentando una imagen ligeramente diferente para cada ojo, como ocurre en nuestra forma habitual de ver. Para la filmación de estas películas se necesitan dos cámaras grabando simultáneamente con dos perspectivas diversas. El espectador necesitará emplear unas gafas que hagan de filtro para separar las imágenes superpuestas una a cada ojo. A parte de este tipo de videos, existen otros que se llaman inmersivos, que producen una documentación panorámica 360° y un 80% de la esfera, permitiendo al usuario tener el control del recorrido y acceder a una visión completa del lugar.

Por otro lado, la fotografía esférica consiste en una serie de imágenes capturadas de forma individual desde el mismo punto y que conforman un mosaico que da como resultado una panorámica de 360°. Para ello, las imágenes originales están colocadas mediante un tipo de proyección cartográfica o panorama esférico de una esfera virtual (Cingolani y Fangi 2011). El entorno espacial

se obtiene por la intersección de la proyección de la imagen del punto P_0 y del correspondiente punto P en el objeto de dos o más puntos de los panoramas orientados.

Estas panorámicas se pueden visualizar a través de navegadores web con formato 3D, que permiten el desplazamiento, acercamiento y alejamiento. En la toma fotográfica son esenciales una serie de parámetros para garantizar la fidelidad de la realidad y la coherencia cromática. La iluminación debe de ser homogénea, por lo que es recomendable las primeras y últimas horas del día, así como días nublados. La utilización de la técnica del alto rango dinámico (HDR) ayudará a conseguir una mejor plasmación de la realidad. El alto rango dinámico permite obtener imágenes más acorde a las visualizadas por el ojo humano. Son un conjunto de técnicas que permiten un mejor rango dinámico de luminancias entre las zonas más claras y las más oscuras de una imagen del que las técnicas de imagen digital estándar o métodos fotográficos pueden ofrecer. Las fotografías HDR se consiguen en general capturando varias fotografías estándar, usando a menudo *bracketing*⁷⁸ de imágenes, y después combinándolas en una imagen HDR. Las fotografías digitales con frecuencia se codifican en formato RAW, propio de la cámara para imágenes. En este caso, a partir de varias imágenes con distintos puntos de luminancia de la iglesia de San Miguel en formato RAW, se ha obtenido una imagen en HDR (fig. 124).



Figura 124. HDR de la iglesia de San Miguel. Fuente: elaboración propia.

⁷⁸ En fotografía, el *bracketing* u horquillado es una técnica consistente en la toma de varias imágenes del mismo tema, variando entre cada una de ellas uno o varios parámetros de la exposición, como el enfoque, la velocidad de obturación, la apertura del objetivo, u otros. Es útil para manejar fuertes contrastes entre luces y sombras que no puedan ser plasmados con detalle en una sola fotografía, se puede fusionar en el ordenador varias tomas de modo que la imagen final contenga más información que cada una de ellas por separado (fotografía HDR).

Entre los *software* utilizados para la reconstrucción de los panoramas nos encontramos, *PtGui* que crea imágenes panorámicas, *ObjectVR* que tiene un sistema de montaje y visualización en 360°, *Krpano Tools*, que dispone de un sistema de montaje y visualización de fotografías panorámicas y visitas virtuales, *Hugin Panorama*, es un *software* libre para la construcción de panoramas y por último, el que se ha utilizado en este caso *Panorama Studio 2 Pro*, que sirve para el montaje de los panoramas y visualización y exportación a navegadores web.

El trabajo realizado ha sido la captura fotográfica directa de alta calidad de los entornos de los bienes estudiados con anterioridad de la villa de Ágreda. Se han capturado en torno a 30 imágenes en formato RAW desde la misma ubicación y con la utilización de un trípode. Los parámetros utilizados en la Nikon D3200 son una distancia focal de 18mm, en modo Manual, ISO 100, todas con la misma una abertura del diafragma f11 y velocidad ajustada al exposímetro. Se ha capturado tanto el pavimento como el cielo, intentando que hubiera un solape entre imagen e imagen del 30 al 50%.

El programa comercial que se ha utilizado para el “cosido” de las imágenes ha sido *Panorama Studio 2 Pro*. La técnica consiste en la alineación de las fotografías mediante la identificación de puntos de control comunes entre dos fotografías (no es necesario que fueran consecutivas en la serie) de tal manera que todas las fotografías en la serie han sido marcadas automáticamente con al menos 4 puntos de control y a partir de esa información el programa ha podido ubicarlas y solaparlas correctamente en el espacio (fig. 125).

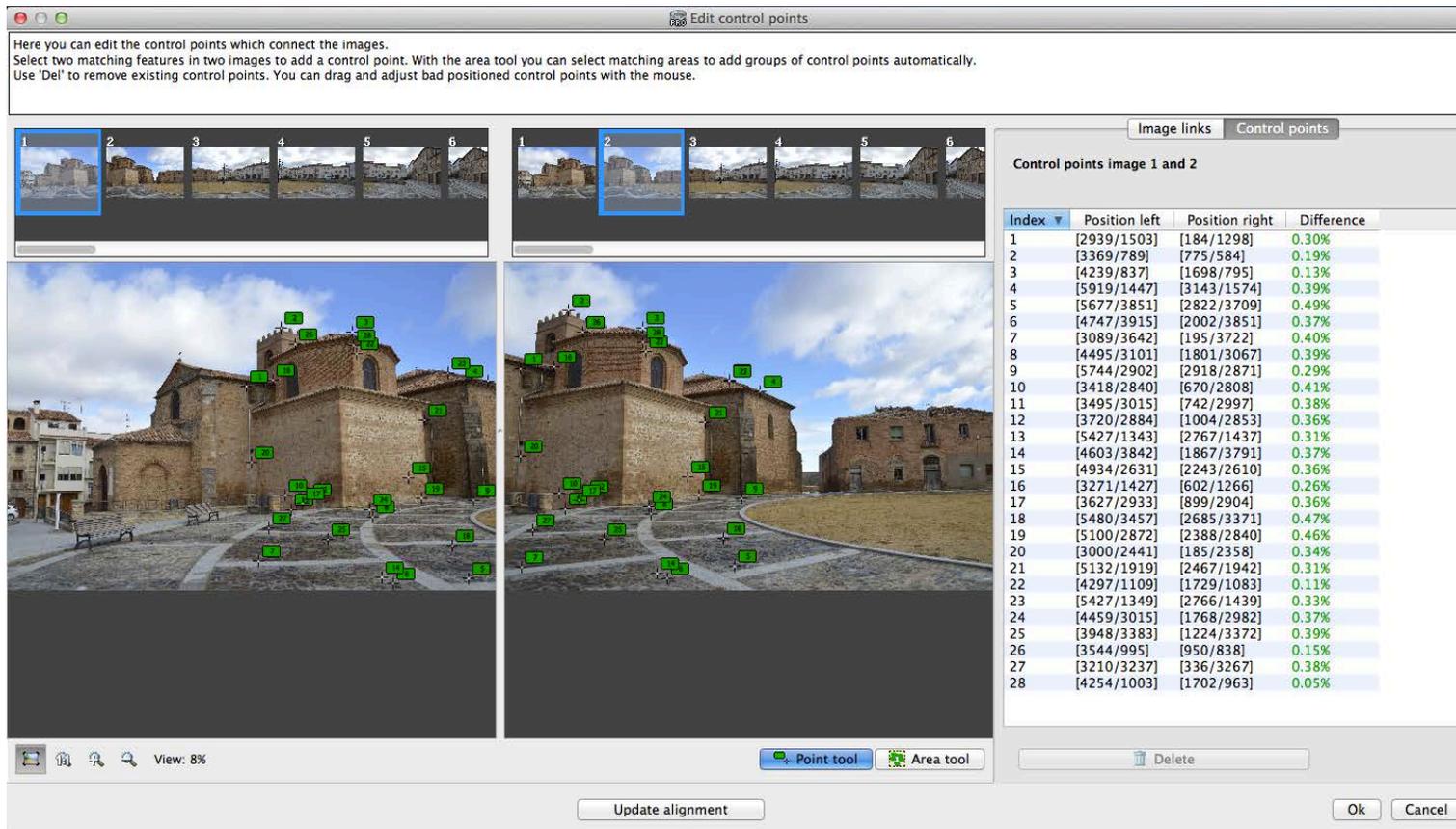


Figura 125. Identificación de puntos de control entre la primera fotografía y la segunda. Fuente: elaboración propia.

El programa reconoce los parámetros EXIF de las fotografías y la cámara con la que fueron tomadas. Una vez renderizada la imagen se obtiene lo que se llama proyección cilíndrica equidistante, que puede ser guardada en formato TIFF o JPEG (fig. 126 y 127).



Figura 126. Imagen en proyección cilíndrica equidistante de la iglesia de San Miguel. Fuente: elaboración propia.



Figura 127. Imagen en proyección cilíndrica equidistante de las murallas y arco Califal. Fuente: elaboración propia.

Las dimensiones de la imagen son 4256x850px, con una resolución de 300ppp, generado a partir de formato RAW y de salida JPEG, con un peso de 10,4MB cada una.

Asimismo, las panorámicas se pueden guardar en formato *Webarchive* para visualizar en modo de semicúpula la imagen desde *Safari* (fig. 128).

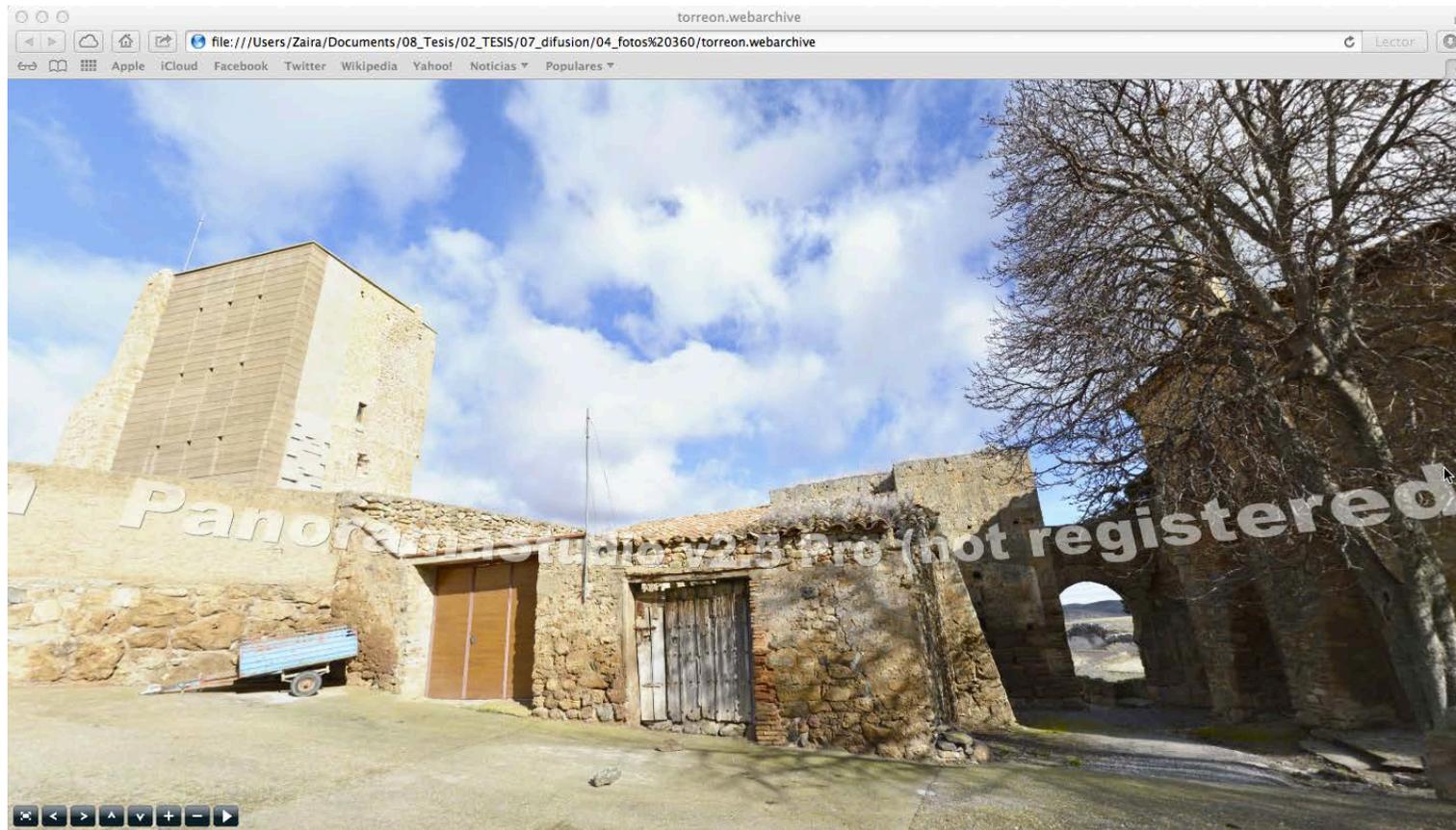


Figura 128. Recorrido virtual en 360° del entorno del torreón de la Muela y el arco del agua. Fuente: elaboración propia.

Las aplicaciones de las fotografías panorámicas son diversas, desde un simple paseo virtual en un navegador web, hasta una aplicación en un teléfono móvil desde la cual, a través de un paseo virtual se puede tener acceso a una serie de descripciones del

entorno y de objetos concretos. La creación de una visita virtual parte de la utilización de un *software* como *Tourweaver*, desarrollado para diseñar e implementar entornos panorámicos en *Flash* de la compañía *Easypano (Panorama Technologies Corporation)*. Una visita virtual de Ágreda, permitiría descubrir todos los espacios arquitectónicos importantes de una forma interactiva y sencilla. En la visita, las escenas van pasando mediante transiciones, con sonido y a las que se les puede añadir texto y modelos tridimensionales.

Por otro lado, la imagen fotográfica es una fuente documental de estudio, y junto con la implantación de las imágenes digitales, se hace necesario un sistema de almacenamiento, archivo y documentación del patrimonio. Estos servicios deberían estar disponibles, por ejemplo, a través de una mediateca o banco de imágenes regional, normalizado, para dar acceso al ciudadano mediante un servicio de consulta de los documentos gráficos sobre el patrimonio cultural. Estos fondos, al igual que la catalogación del patrimonio, se gestionan por parte de las comunidades autónomas que son las que poseen la competencia sobre los bienes patrimoniales, y quienes ya han iniciado esta labor de documentación. Las labores de este servicio son las de producción de imágenes, gestión, actualización, metadato, almacenamiento y preservación de archivos digitales (Pizarro, Dubo y Rubio 2010). Los metadatos sirven para la identificación de imágenes dotándolas de una información básica, que permite su búsqueda y localización y controla su gestión. La información básica puede seguir el estándar IPTC⁷⁹ desarrollado por la *International Press Telecommunications*. Este estándar ofrece campos como la denominación del bien, título, código del bien, autor de la imagen, fecha de creación, municipio, provincia, signatura, institución y otros datos técnicos de la imagen traducidos por ejemplo a un archivo XML, que pueden ser gestionados por una base de datos.

La gestión de la base de datos gráfica resuelve las necesidades del uso de imágenes para apoyos a estudios y trabajos relacionados con el patrimonio. Entre sus acciones destacan, la de unificar la información en un único registro, con un lenguaje documental unificado, permitiendo la descripción de los documentos y la inclusión de metadatos descriptivos asociados a los documentos gráficos.

En último lugar, una solución para dar acceso a estas imágenes sería por ejemplo el uso del *software* de código abierto *Coppermine Photo Gallery*. Esta herramienta ofrece una galería de imágenes avanzada organizada por categorías y subcategorías. Además permite la extracción de metadatos y su gestión a través de bases de datos como *MySQL* a través de estándares como EXIF y estándares abiertos como XML. También ofrece la posibilidad de realizar consultas y de un manejo sencillo para los usuarios a través de internet, estableciéndose una conexión directa con otros modelos de datos dedicados al patrimonio.

⁷⁹ IPTC PhotoMetadata, International Press Telecommunication Council <http://www.iptc.org/cms/site/index.html?channel=CH0089> [consultado: 03/03/2014].

10.4. ENTORNOS 3D

Otro de los recursos para la visualización tridimensional del patrimonio son los entornos web. La creación de un entorno web proporciona una solución técnica orientada a la difusión del patrimonio cultural por su calidad gráfica y métrica. Muestran cualquier levantamiento tridimensional en tiempo real desde un navegador a la comunidad de investigadores, estudiosos y usuarios del patrimonio. Y además permite gestionar la información documental sin perder su valor técnico. En muchas ocasiones la tarea científica de la captura de datos y generación de la información ha quedado desequilibrada en la difusión, ya que se necesita una información más simplificada de las partes relevantes (Angás y Serreta 2010). En nuestro caso de estudio, ha sido compatible mostrar la documentación generada desde fotogrametría en su estado científico sin la modificación de los parámetros de los modelos (fig. 96).

Existen en la web aplicaciones como *Sketchfab* o *Verold* que han aportado un avance muy interesante a la creación de librerías de modelos tridimensionales en la red. Posibilitan mostrar el trabajo al mundo, compartiendo modelos 3D de forma interactiva, permitiendo a cualquier usuario manejar el modelo de una forma sencilla e interactiva, no quedando limitado a uso de fotografías o vídeos realizados a partir del modelo. Es el inicio de lo que podría llamarse la web 3D. La desventaja de estas herramientas es que todavía no tienen desarrollado la función de medir distancias entre dos puntos.

Para poder visualizar los modelos, se utilizan los navegadores *Firefox*, *Chrome*, *Opera* o *Safari*. En principio, no son visibles a través de *Explorer*, ya que *Sketchfab* está basado en *WebGL*. *WebGL* es una especificación estándar desarrollada para mostrar gráficos 3D en navegadores web. Técnicamente es un API⁸⁰ para *javascript* que permite usar la implementación nativa de *OpenGL ES 2.0* que será incorporada en los navegadores. *WebGL* es gestionado por el consorcio de tecnología sin ánimo de lucro *Khronos Group*.

Los modelos se pueden subir desde una cuenta gratuita, donde el tamaño del modelo está limitado 50MB o una cuenta *Premium* con acceso ilimitado. *Sketchfab* es compatible con una amplia gama de formatos de 3D (fig. 129), incluyendo los archivos de *Blender*, *Wavefront*, 3DS, *OpenSceneGraph*, *Lightwave*, WRL, PLY, SHP, STL, *Flight Open*, 3DC, GEO, GTA y formatos KMZ. Podemos agregar un nombre de modelo, etiquetas y descripción de las imágenes subidas. Los modelos se han podido crear por fotogrametría o láser, se puede visualizar la malla con textura. En este ejemplo, se ha optado por subir un archivo de la iglesia de San Miguel en formato .3ds. Previamente se ha creado un *zip* del archivo incluyendo jpeg para vincular la textura⁸¹. Se pueden subir

⁸⁰ API (del inglés *Application Programming Interface*) o Interfaz de programación de aplicaciones (IPA) es el conjunto de funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción. Son usadas generalmente en las bibliotecas.

⁸¹ Para exportar el modelo en formato .3ds, los nombres de la textura no deben tener más de 8 caracteres, sólo debe contener letras y números, y no símbolos, para que pueda enlazar y reconocer la textura el modelo en otros programas.

modelos desde los programas que disponen de *plugin* a *Sketchfab* como por ejemplo *Sketch-up*, del que directamente se exportan con la dirección de la API de la cuenta.

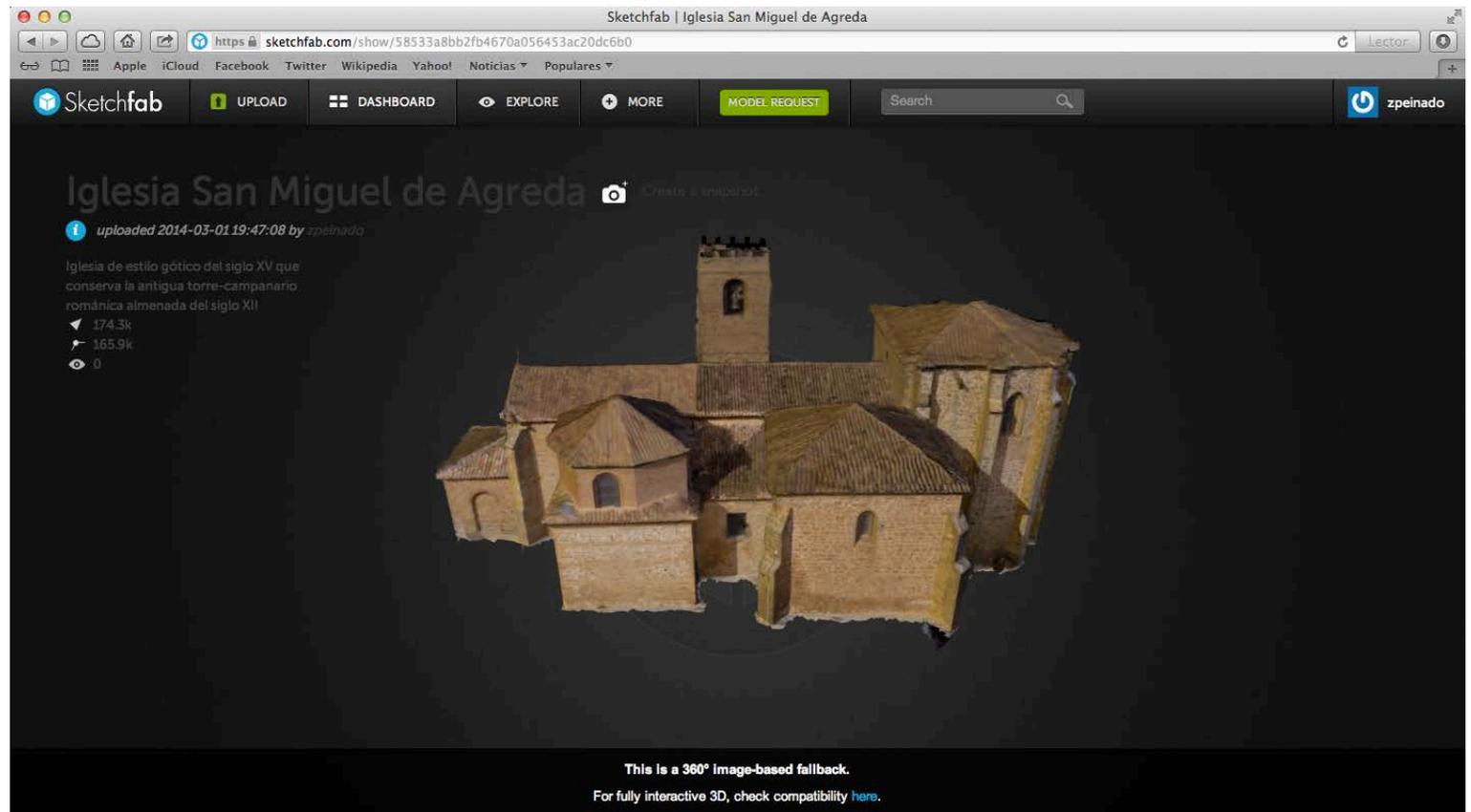


Figura 129. Modelo de la iglesia de San Miguel en *Sketchfab*. Fuente: elaboración propia.

10.5. ANIMACIONES Y RECORRIDOS VIRTUALES

El último de los apartados referidos a la difusión del patrimonio contiene las características aplicadas a animaciones y recorridos virtuales. Este caso nuevamente está enfocado a los lugares culturales de la villa de Ágreda e implementado además para la catalogación del patrimonio.

Las ventajas de las animaciones y recorridos virtuales es que permiten al usuario navegar sobre escenarios interactivos simulando la realidad. El protagonista asocia inmediatamente y de manera intuitiva el entorno que le rodea e interactúa con modelos fieles a la realidad, aportando un interesante elemento diferenciador a la difusión del patrimonio cultural.

Uno de los componentes que van a participar en las animaciones son los motores de juegos. Éstos constituyen una tecnología que lleva un largo recorrido detrás de los videojuegos. Son herramientas que permiten que podamos movernos libremente por un escenario e interactuar con los distintos objetos y elementos. Recientemente se viene aplicando esta tecnología a la visualización del patrimonio cultural como objetos escultóricos, monumentos arquitectónicos, yacimientos arqueológicos...etc. Los motores de juegos que soportan datos tridimensionales son *Unity3D*, *Ogre3D* y *OpenSG* entre otros.

Además de navegar sobre un escenario interactivo, es preciso que el usuario trate de interactuar con los modelos ofreciendo información detallada del bien y de sus propiedades morfológicas. Anteriormente se ha estudiado *CityGML* para la generación de un modelo de datos. Sus funciones eran crear un modelo de datos a partir de un modelo tridimensional, definido como "monumento" patrimonial en el que eran identificadas sus propiedades geométricas, topológicas, semánticas y de apariencia. Posteriormente estos archivos eran gestionados por "*The 3D City Database*" y mediante unas *WFS* se podrían realizar búsquedas. Una de las desventajas de este recurso, es que necesita un apoyo de visualización del modelo de datos para que proporcione los datos específicos del bien. Como podría ser el caso de un servicio Web 3D (*W3DS*), que proporciona interpretación para geodatos 3D, como los modelos de ciudad, modelos con texturas, etc. Puede manejar conjuntos de datos con múltiples *LoDs* y datos geográficos, entregándose en escenas eficientes a tiempo real de renderizado. Sin embargo, tales *W3DS* se encuentran en nivel de debate de OGC desde la versión 0.4.0 de 2011 (Agugiaro et al. 2011b). Según lo expuesto, la herramienta ideal para el análisis en el marco del patrimonio cultural tendría que realizar estas dos tareas mencionadas, la realidad virtual aplicada a la animación e interacción con modelos tridimensionales gestionados por bases de datos en línea y la integración de modelos tridimensionales previamente creados por técnicas fotogramétricas u otras, en motores de videojuegos, en la que actúen como fuente de difusión de entornos virtuales arquitectónicos. Para ello se va a mostrar el prototipo de animación y difusión aplicado sobre el patrimonio de la villa de Ágreda.

Esta herramienta permitirá el estudio de la evolución de la villa y el análisis respecto a la historia del arte de los edificios en un contexto de paisaje tridimensional para difundir y hacer accesible el patrimonio a cualquier usuario. Es por ello necesario dotarlo de una base de datos central del patrimonio y de una fuente de datos referenciados geográficamente para localizar y acceder a la información de los bienes y edificios.

El proyecto ha comenzado mediante el levantamiento tridimensional de la villa a partir de los planos recogidos en el Plan Especial de Protección del Conjunto Histórico de la Villa de Ágreda. Se han utilizado las curvas de nivel para crear el modelo digital del terreno, las alturas de las edificaciones, la clasificación de los elementos catalogados, la vegetación y el río. En el levantamiento se han considerado tres niveles de detalle (Lod, *Level of Detail*) u orden de jerarquía para la villa de Ágreda, como también ocurría en *CityGML*, que cuanto mayor era el LoD, los modelos eran más precisos y detallados:

- LoD1: para volumetrías sencillas a base de prismas a partir de las alturas de las estructuras
- LoD2: para reconstrucciones por técnicas fotogramétricas y láser escáner, de los exteriores
- LoD3: para reconstrucciones por cualquier técnica que muestra exterior e interior
- LoD4: para detalles de elementos o decoraciones (en nuestro caso no ha sido empleado)

Sobre las mallas texturadas se ha aplicado un algoritmo de reducción del 30% para reducir el número de polígonos y conseguir una simplificación geométrica en cuanto a la visualización en línea.



Figura 130. Diferentes tipos de detalle en vista aérea de la iglesia de San Miguel. LoD1 mediante volúmenes prismáticos y alguna alusión a las cubiertas y el LoD2 realizado mediante fotogrametría y simplificado del exterior para alta resolución. Fuente: elaboración propia.

El resultado de la figura 130 es un modelo híbrido que combina volúmenes simples con modelos basados en la realidad realizados por las técnicas de fotogrametría y láser escáner descritos en apartados anteriores, elegidos en función de la precisión requerida, de las dimensiones del objeto y la ubicación, de las características de la superficie y del presupuesto del proyecto. Son modelos multiresolución en los que se combinan alta y baja resolución según la distancia a la que se esté visualizando el objeto (fig. 130 y 131). Precisar de baja resolución, es decir, una más esquemática cuanto más lejano se encuentre el objeto, sobre todo en vistas aéreas. Y otra más detallada, de alta resolución tanto en geometría y textura, cuanto más cercanos estén los objetos y según estén definidos los bienes. Por ello, una vez realizada la integración de datos, se ha procedido a la homogeneización por las diversas fuentes de los datos. Una de las problemáticas de la introducción de elementos de alta resolución es que se requiere un alto rendimiento del *hardware*, solucionable por la utilización del motor de juegos, que a día de hoy están muy avanzados en cuestiones de velocidad en la navegación.

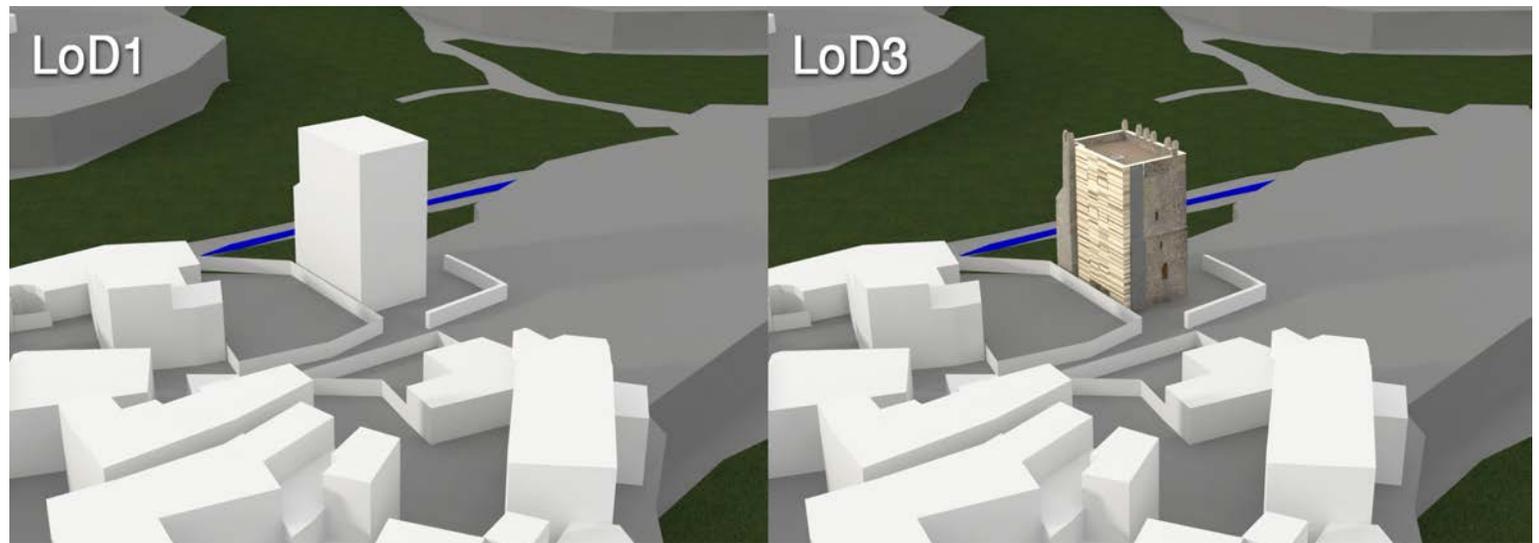


Figura 131. Diferentes tipos de detalle en vista aérea del Torreón de la Muela. LoD1 mediante volumetrías prismáticas y alguna alusión a las cubiertas y el Lod3 realizado a partir del proyecto de rehabilitación y del levantamiento topográfico detallado el exterior y el interior para alta resolución. Fuente: elaboración propia.

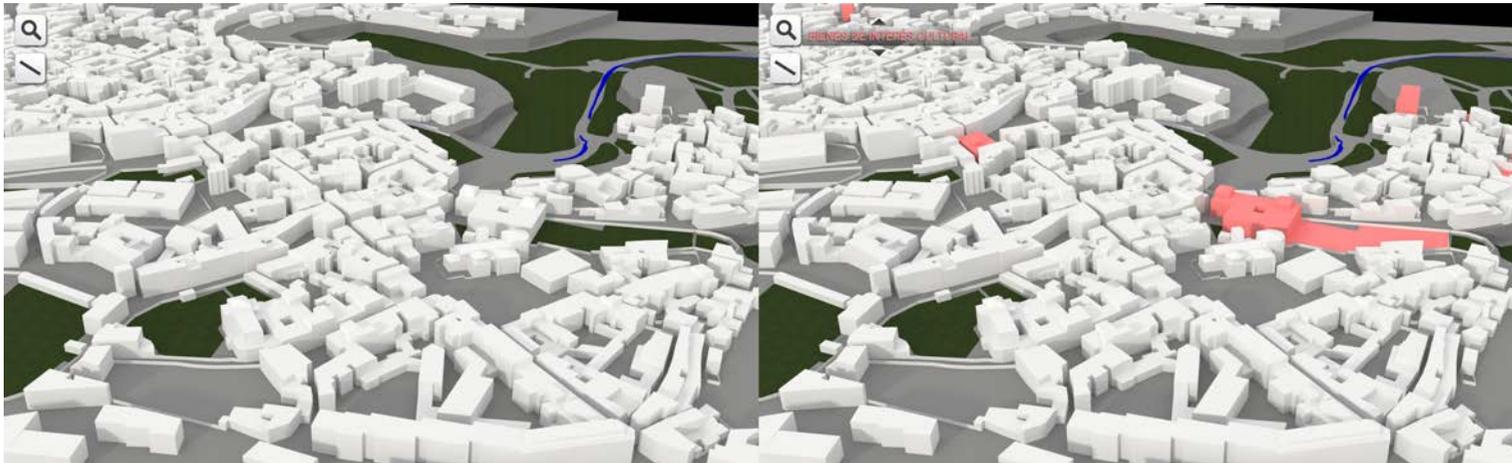


Figura 132. Consulta de visualización de “Bienes de Interés Cultural” sobre la vista aérea. Fuente: elaboración propia.

La herramienta permite realizar consultas de visualización mediante atributos de objetos, por ejemplo “todos los bienes de interés cultural” (fig. 132). O bien, mediante un clic sobre el modelo tridimensional, se puede tener acceso a todos los datos sobre el bien (fig. 133), donde los valores de los atributos se recuperan de una base de datos relacionada y se muestran en un cuadro de texto junto con una fotografía.

Los modos de visualización son vista aérea de la villa donde se visualizan generalmente en LoD1 dependiendo de la distancia hasta convertirse en LoD2 y LoD3, es decir, de geometrías prismáticas a mallas de alta resolución, y otro con modo terrestre donde se visualizarán los objetos con el mayor rango que tengan. A mayor LoD mayor detalle tendrán los atributos. Además se da la posibilidad de medir la distancia entre dos puntos del modelo.



Figura 133. Datos del bien patrimonial Torre de la Muela. Fuente: elaboración propia.

La herramienta tiene capacidad de realizar un análisis arquitectónico porque está preparado para manipular conjuntos de datos multirresolución tridimensionales. Además permite consultas basadas en geometrías y sus propiedades, de navegar y visualizar modelos tridimensionales, dando acceso a los contenidos (Agugiario et al. 2011a).

Para la navegación, visualización y consulta de la interfaz interactiva se ha usado *Unity3D*, por sus rápidas capacidades de *scripting*. Por otro lado, se ha utilizado una base de datos para albergar todos los atributos de los bienes patrimoniales integrándose con los modelos geométricos. Se ha elegido *MySQL* como base de datos para el almacenamiento de datos (fig. 134). Funciona mediante un *script* PHP, que conecta la base de datos con *Unity3D* para comunicar y recuperar datos cuando es necesario. Al ejecutar la aplicación, la información almacenada se recupera y la asigna a los objetos correspondientes debido a que los objetos se han estructurado previamente en capas y el nombre de la capa es la clave de referencia para los atributos correspondientes de la base de datos.

The screenshot shows the SQL Buddy interface. On the left, there is a navigation menu with options like Home, Users, Query, Import, and Export. Below that, a list of databases is shown, with 'patrimonioagreda_zxq_difusion' selected. The main area displays a table with the following data:

Select:	All	None	With selected:	Edit	Delete	Refresh
	name	tipo_proteccion	ref_catastral	descripcion		
<input checked="" type="checkbox"/>	Torre de la Muela	Monumento	0045012WM9304N	Torre [...]		

A 'Full Text' popup window is open, showing the following details for the selected record:

```

name
Torre de la Muela

tipo_proteccion
Monumento

ref_catastral
0045012WM9304N

descripcion
Torre de mampostería de piedra con sillares en esquinas y huecos. Elementos de interés, restos de arquitecturas islámicas y cristianas y los hallazgos arqueológicos. Cubierta plana de madera tecnológ

historia
La primera ocupación islámica de Ágreda pudo ser ya en el siglo VIII, estilísticamente el aparejo del alcázar parece obra emiral, de ese siglo o del siguiente. La zona pudo tener una etapa cristiana d

condicion_general
Proyecto de rehabilitación y conservación 2013

valor_turistico
Interés histórico

condicion_fisica
Buena, excepto entorno no acondicionado
  
```

Figura 134. Atributos del Torreón de la Muela sobre la base de datos MySQL. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el paquete de la animación se exporta a un ejecutable que se podría descargar desde la página web que contuviera el contenido de difusión de la villa y así dar acceso al contenido para iniciar la navegación sobre los distintos objetos patrimoniales de Ágreda.

En resumen, el resultado ha sido la generación de un modelo totalmente interactivo de la villa de Ágreda, ejecutable desde cualquier ordenador, donde el espectador, en primera persona puede hacer un recorrido por cualquier parte del modelo multirresolución con calidad gráfica, interactuando con las diversas partes debido a la capacidad de consulta de geometrías y atributos y exploración de los datos tridimensionales en diferentes niveles de detalle. De esta forma se ha integrado el modelado tridimensional y la realidad virtual aprovechando todo su potencial gráfico y la capacidad de manipulación en tiempo real que posee, convirtiéndolo en una fuente de difusión del patrimonio de gran potencial.

El proyecto sirve de estudio, visualización, consulta, para fines educativos y de evaluación entre otros. Puesto que es un prototipo, algunas cuestiones quedan sin resolver. Por ejemplo, una de las futuras mejoras sería la caracterización de los edificios a través de la aplicación de textura mediante la rectificación fotográfica. Realmente, esta aplicación y *Google Earth* no están tan alejadas la una de la otra, y en un futuro no muy lejano, podrían convertirse en un único recurso.

10.6. CONCLUSIONES

En las últimas décadas ha tenido lugar la evolución de las llamadas “nuevas tecnologías” y han venido a transformar los procedimientos tradicionales de difusión del patrimonio, ampliando sustancialmente sus posibilidades, mejorando la calidad, la efectividad, la manejabilidad y reduciendo notablemente sus costes. Esto ha producido que muchos “centros de difusión” del patrimonio, tanto turísticos para el público en general como educativos se hayan acogido a estos recursos.

Se ha querido mostrar en este repaso encuadrado en tecnologías aplicadas al Patrimonio Histórico, y más en concreto a su difusión, la importancia de esta disciplina, sus posibilidades y las tendencias para el futuro, referidos en cuanto a la investigación sobre nuevos instrumentos y el de la representación del patrimonio a través de herramientas gráficas técnicamente cualificadas (Gómez y Quirosa 2009). Porque la suma de las tecnologías más la representación gráfica han hecho un recurso capaz de convertir al patrimonio cultural en un espacio plenamente didáctico, interactivo y abierto a todos los participantes, elevando el valor de estos lugares. De esta manera, se ha podido comprobar la utilidad de los levantamientos arquitectónicos, cómo un modelo tridimensional puede estar destinado al uso de la difusión, aun cuando se haya elaborado para otro fin, valiéndose de herramienta de transmisión de nuestro legado.

El marco de referencia han sido la realidad aumentada, *Google*, las fotografías panorámicas, los entornos web y las animaciones y recorridos virtuales aplicados al caso de estudio de la villa de Ágreda. Hemos visto como la realidad aumentada se ha implantado en dispositivos portátiles (*smartphones*, *tablets* o *Google Glass*) al alcance de cualquier usuario y que con un simple gesto ofrecen una nueva visión del patrimonio. Le han acompañado el uso de marcas fiduciales, “marcadores” que han acercado objetos y maquetas virtuales a la pantalla del instrumento como si fueran reales y mediante el *tracker-lees*, la realidad aumentada da la posibilidad de crear itinerarios personales recorriendo ciudades, calles y paisajes, navegando por las características patrimoniales de cada lugar.

Google se ha descrito como un sujeto privado y agente difusor del patrimonio. Haciendo accesible al público la información de forma libre y sin límites en cuanto alcance. Abarca cada vez más campos de aplicación inclusive el del patrimonio y asimismo se asocia con organismos culturales para llegar más lejos en cuanto a sus acciones de difusión del patrimonio. De entre ellas, *Google Earth* es la que permite visualizar modelos tridimensionales y realizar recorridos virtuales simplemente con una conexión a internet.

El recorrido por las técnicas de difusión por otro lado, nos ha dejado entrever la forma en que los panoramas esféricos dan acceso a la visualización de cualquier punto del planeta, desde un entorno exterior hasta un espacio interior o una visita interactiva a un conjunto de bienes. En el caso de los entornos web, se pone a la disposición de la comunidad de usuarios una biblioteca con modelos tridimensionales donde se incluyen los monumentos arquitectónicos, para consulta, visualización individual, navegación y exploración de detalles inclusive aquellos inaccesibles de forma general. Y el último recurso estudiado han sido las animaciones virtuales. Se ha mostrado la capacidad de realismo a la que son capaces de llegar según el nivel de detalle. Son accesibles desde cualquier conexión y nos han permitido sobrevolar y navegar interactivamente por la villa de Ágreda sin límites, accediendo a la información detallada de sus bienes patrimoniales.

Todas estas opciones han demostrado ser soluciones para transmitir contenidos, en este caso, modelos tridimensionales vinculados con el patrimonio. Se ha buscado que la interacción ordenador y persona fuera lo más natural e intuitiva posible y que la tecnología se mostrase únicamente como una herramienta que posibilitara esa comunicación siendo el vehículo idóneo para transmitir el patrimonio a un público masivo y heterogéneo (Ruiz 2013). Nuevamente, se ha contemplado que estas técnicas están vinculadas al modelo tridimensional, a la interactividad y a la difusión de los contenidos mediante recursos multimedia que facilitan la transmisión de mensajes relacionados con el patrimonio y que ayudan a comprender los espacios y edificios históricos. Los responsables de la divulgación del patrimonio hacen de ellas un uso para dar claridad y precisión a las características de un monumento o un conjunto arquitectónico en museos, centros de difusión, mediante aplicaciones.

Como síntesis, se ha diseñado una página web donde se recogen todos los recursos producidos de esta investigación. La página se llama “Ágreda, villa de las tres culturas”, está diseñada en *Google Sites* y configurada por diversos apartados relacionados con las aportaciones propuestas para la difusión del patrimonio arquitectónico de la villa (fig. 135). De esta manera se intenta acercar el

legado existente en una zona rural, lejana de las rutas de las grandes ciudades, a diferentes usuarios, ya sean vecinos, turistas, profesores o investigadores.

https://sites.google.com/site/agredavilladelastresculturas/home/nuestra-parroquia/inicio

Ágreda, villa de las tres culturas

Contenidos

- Ágreda
 - Descripción
 - Localización
- Google Earth
- Panorámicas esféricas
- Entornos 3D
- Realidad Aumentada
 - Marcadores
 - Tracker-less
 - Recorridos virtuales

Autores de la página

Zaira Peinado Checa
marzo 23, 2014

El objetivo de esta página web es mostrar el resultado del trabajo de investigación llevado a cabo sobre la villa de Ágreda para la difusión de su patrimonio arquitectónico.

Para ello se han llevado a cabo trabajos de levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría y láser escáner sobre tres hitos culturales, la iglesia de San Miguel, el Torreón de la Muela y el arco Califal.

Todo el contenido que se muestra ha sido realizado por la autora con la intención de dar a conocer el potencial de su pueblo.

Figura 135. Diseño de la página web para la difusión del patrimonio de la villa de Ágreda. Fuente: elaboración propia.

Es cierto que en este ámbito no debería de ser apto cualquier resultado, ya que se banalizarían los contenidos. Para llegar a más público y alcanzar mayor difusión, se entiende que los modelos tendrían que ser lo más fiel posible a la realidad. Por ello, parece justo pensar que las entidades encargadas del levantamiento arquitectónico, hagan buen uso de las herramientas para la captura de datos. En el caso que no fuera posible utilizar las tecnologías desarrolladas en apartados anteriores, deberían de cuidar lo más posible la fidelidad del modelo porque bien es cierto que no existe ninguna norma que regule los contenidos divulgativos en

relación con el patrimonio, como tampoco existe a día de hoy, una gestión global de las materias en difusión del patrimonio de una comunidad autónoma.

A parte de la fidelidad con la realidad, se tiene que tener en cuenta que dependiendo del tipo de recurso que se utilice, será necesario un cierto nivel de detalle. No el mismo modelo servirá para todos los entornos, dependerá del tamaño que se precise o del número de polígonos que sea capaz de soportar la aplicación. En esta investigación se han elaborado modelos complejos, algunos de ellos, para su utilización sobre un soporte determinado, a pesar de ello, en algunos casos ha sido indispensable su simplificación en cuanto al número de polígonos pero manteniendo su estética inicial. Como por ejemplo ha ocurrido con el modelo del Torreón, se ha simplificado exclusivamente a las envolventes exteriores, eliminando su interior y reduciendo la cantidad de polígonos para adecuarlo al tamaño necesario en su inserción sobre *Google Earth*.

Es factible que uno de los requisitos para el desarrollo de esta praxis es el trabajo colaborativo. La suma de un equipo multidisciplinar compuesto principalmente por ingenieros informáticos en el desarrollo de *software*, de historiadores e historiadores del arte para la documentación y de arquitectos para el levantamiento arquitectónico, le confiere el carácter profesional y riguroso necesario en este ejercicio.

Por otro lado, uno de los puntos importantes a tener en cuenta es que, la puesta en práctica de estos recursos se ha efectuado con modelos creados para el fin de esta investigación, pero fácilmente se podrían haber utilizado modelos concebidos para otras prácticas como la documentación, detección de patologías o proyectos de rehabilitación, entre otros, de estos mismos edificios. Este es el punto de discusión y eje principal de este estudio. Ello conllevaría al usufructo del material gráfico creado para difundir estudios e investigaciones y evitar que permanecieran en un ámbito puramente institucional. Por lo que respecta a las Comunidades Autónomas, quienes según la Constitución Española poseen las competencias sobre la tutela del patrimonio, se anima a que los recursos destinados tanto a la catalogación como a la conservación de los bienes de su territorio, fueran invertidos de la misma forma en la difusión de los mismos, facultaría a observar el patrimonio con una nueva óptica, proporcionando una puesta en valor del mismo. De esta manera, se aunarían esfuerzos para que los espacios en la red destinados a la difusión del patrimonio no fueran individuales, por poblaciones, por monumentos o por conjuntos arquitectónicos, sino que tendrían una componente globalizadora a nivel de territorio y fundamentalmente, las empresas privadas y los centros de difusión no serían solamente los encargados de realizar esta tarea, como ocurre a día de hoy.

Otro de los objetivos apuntados durante el discurso han sido los contextos sobre los que se han orientado estos trabajos. Uno de los ámbitos que abarcan las aplicaciones de los recursos culturales, es el didáctico por resultar motivador en la experiencia que generan, y además porque divierten, atraen y suponen un reto en acciones como aprender del patrimonio. También es muy útil en otros ámbitos como el museístico. De hecho, los usuarios que mayor tiempo pasan frente a estas instalaciones son los más jóvenes porque se sienten cómodos en el manejo y les resulta atractiva. Además, cabe mencionar que pueden ser útiles para situaciones de

discapacidad, algunos dispositivos facilitan la inclusión social de personas en el disfrute y apreciación del patrimonio, sobre todo los que tienen disminuidas sus capacidades (Puyuelo et al. 2011). Este hecho aumenta las formas de hacer que la actividad de cuidar nuestro patrimonio sea una tarea de colaboración entre jóvenes, usuarios y responsables del patrimonio.

Y como última instancia, concluir que estas prácticas nos aportan una nueva conciencia del patrimonio como instrumento dispensador de conocimiento, pero es necesario recalcar que la tecnología debe ser un apoyo valioso, pero no puede y no debe sustituir emociones indescriptibles procedentes de momentos como caminar por las calles de uno de los muchos centros históricos o el hecho de admirar un edificio en su contexto.

PARTE III: CONCLUSIONES

11. CONCLUSIONES

11. CONCLUSIONES

Las conclusiones al trabajo expuesto dan respuesta a las cuestiones planteadas en los objetivos de la investigación, para, a continuación exponer posibles líneas de investigación en las que poder seguir investigando a partir de los resultados de la presente tesis.

Como se introducía al inicio, el primer objetivo concreto, el de la revisión del marco teórico, la conceptualización del patrimonio, normativa, administraciones y campos de aplicación, han permitido marcar los puntos de partida sobre los que se ha establecido el desarrollo de la tesis y han posibilitado el desarrollo metodológico para los siguientes capítulos. En concreto, a partir de los resultados del capítulo tercero, se han podido desarrollar el cuarto, quinto y sexto. De esta forma, el desarrollo y aplicación de esta tesis, nos permite obtener las siguientes conclusiones.

En referencia al segundo objetivo, “establecer un análisis de las técnicas y métodos usados para la documentación gráfica del patrimonio arquitectónico, con una comparativa de ventajas e inconvenientes en la obtención del modelo tridimensional”. Se ha establecido que la documentación gráfica a través del levantamiento arquitectónico se puede considerar como una actividad de investigación y necesaria en las fases del proceso de tutela del patrimonio referentes a la gestión, conservación y difusión, como indica la Carta de Venecia. De esta forma, se ha dado a la documentación gráfica de un bien el soporte necesario para establecer una mejor comprensión del significado y reconocimiento del estado actual como el primer paso para cualquiera de las fases de tutela enunciadas, donde las motivaciones en cada caso son diferentes: el archivo digital, la documentación en caso de pérdida o daño, turismo virtual y museo, recursos educativos y la interacción sin riesgo de daño, entre otros.

Los requisitos especificados para muchas aplicaciones, involucra una alta precisión geométrica, foto-realismo de los resultados y el modelado de los detalles completos, así como que sea un proceso automático, de bajo coste, con portabilidad y flexibilidad de la técnica de modelado. Por tanto, la selección de la técnica de captura y modelado 3D más adecuada para satisfacer todos los requisitos en las diversas aplicaciones dadas, no es siempre una tarea fácil.

El modelo tridimensional de un objeto puede ser visto como el proceso completo que comienza a partir del análisis del objeto de estudio, bibliografía, documentación anterior, croquización, elección de la técnica, adquisición de datos, procesado y termina con un modelo virtual en 3D visualmente interactivo del que se pueden obtener diversos productos finales.

Diferentes enfoques han sido examinados para la adquisición, procesamiento y visualización de la información 3D, principalmente para aplicaciones de corta distancia, entre los que se encuentran dos técnicas, la combinación de fotogrametría terrestre y aérea de bajo coste y el láser escáner. El modelado basado en imágenes facilita de forma sencilla y precisa la generación de cualquier

modelo digital con aspecto realista. Las ventajas que presenta son su precisión, el coste, ya que incluso con una cámara de aficionado se pueden adquirir imágenes viables sin necesidad de calibración ya que actualmente el software de mercado incorpora tecnología SfM, por lo que permite la combinación de fotografías de varias cámaras, como en nuestro caso de estudio, una profesional con una Gopro. De esta forma hemos adquirido datos de puntos inaccesibles en un solo día de trabajo de campo. El tiempo destinado al procesado también es breve y la elección de la densidad de puntos se define según las necesidades del modelo. Las desventajas son la iluminación, la distancia al objeto, necesidad de modelos con rica textura.

Por otro lado, el escáner permite libertad en la disposición de la toma de datos, con un único punto de vista se consigue gran información de la escena, volcado inmediato de la nube de puntos bruta e independiente de la textura del modelo. Los inconvenientes son densidad de puntos muy elevada y más cuando se combinan varias nubes, el tratamiento posterior sobre todo el georreferenciado sino se utilizan esferas, la aplicación del color a través de fotografías realizadas con otra cámara, la utilización de diversos software para la generación de las ortofotografías y de malla del modelo tridimensional, aplicación de la textura y alto coste de adquisición.

Muchos de los problemas de la conversión de una nube de puntos de medición en una poligonal 3D realista modelo que pueda satisfacer las demandas del modelado y visualización, no han sido completamente resueltos en el caso del escáner. Además, todos los programas existentes para el modelado y visualización de objetos 3D son específicos para ciertos tipos de datos, por lo cual ha sido ardua la tarea de generar una malla completa correctamente texturizada. También, debido al gran tamaño de la mayoría de los modelos detallados, no ha sido en muchas ocasiones la navegación fluida con el ordenador ampliado y en muchos casos según la aplicación ha resultado conveniente la simplificación del modelo. En general, el modelo utilizado sobre los diversos campos de aplicación ha sido el realizado mediante fotogrametría, por tener el modelo completo, por su calidad foto-realística, por ser una malla completamente cerrada, por el tamaño del archivo y el número de polígonos, aunque en ambos casos, la precisión ha sido muy parecida y mayor en el caso del escáner.

En conclusión, se puede establecer que una documentación adecuada, produce diversa información precisa sobre el bien, evitará tener que volver a documentar en un periodo breve, lo que producirá un ahorro en recursos y permitirá la realización de estudios comparativos de la evolución del bien patrimonial a lo largo del tiempo.

El tercer objetivo es “plantear una metodología para la creación de un modelo de datos en base a información espacial a través de estándares abiertos e interoperables como CityGML (estándar OGC)”.

El patrimonio es un bien complejo de proteger en la medida que afecta a diversas competencias, leyes y normativas. Asumidas por las comunidades autónomas las competencias en materia de patrimonio, se proponen la unificación de instrumentos para la gestión unificada del patrimonio como catálogo único de cada autonomía mediante sistemas de información. Por otro lado, dado

que el ámbito patrimonial todavía no está en la línea de la directiva INSPIRE, como lo está por ejemplo el ámbito medioambiental, se ha propuesto una metodología para satisfacer las características del Anexo III de la Directiva mediante estándares abiertos internacionales, permitiendo así una mejora susceptible en el ámbito de la interoperabilidad. De esta forma, se ha planteado un modelo de datos, con información espacial, en este caso, el modelo tridimensional y que su vez permite incorporar las características del patrimonio arquitectónico. Se ha descrito las posibilidades que ofrece, como un modelo de información administrado en capas según elementos constructivos, con la posibilidad de almacenamientos de la información geométrica hasta máximo nivel de detalle, LoD4. Para ello se han utilizado dos ejemplos, el de la iglesia de San Miguel realizado por fotogrametría y compuesto por una malla con nivel de detalle LoD3, para ver cómo un modelo de una captura directa puede ser contemplado y si fuera simplificado a formas geométricas simples, podría tener más capacidad de información y utilizarse en LoD4. Como por ejemplo, el caso expuesto para el proyecto de rehabilitación del Torreón de la Muela, por el nivel de detalle alcanzado. Además se han propuesto soluciones para la divulgación de los datos mediante formatos abiertos como WFs, WMS, Deegree y WebGL útiles gracias a la interoperabilidad de CityGML.

Esta metodología implica la utilización de información tridimensional generada por parte de administraciones por otras motivaciones y poder relacionarla con sus sistemas de información, aunque todavía supone un reto, ya que implicaría la unificación de criterios de aplicación sobre estándares, que en tal caso, serían las instituciones implicadas en el patrimonio las que determinasen sobre qué documentación, proyectos o planes llevarlos a cabo. Pero por ejemplo, documentación generada por el Instituto del Patrimonio Cultural Español (IPCE) no se quedaría simplemente almacenada en cd u otros sistemas de almacenamiento, sino que la solución aportada podría contribuir al uso de tal información sobre los sistemas de información regionales del patrimonio.

Las conclusiones expuestas para el cuatro punto, “Proponer un procedimiento para la creación de un Sistema de Información Monumental a partir modelos tridimensionales con ayuda de las tecnologías SIG para que sean de utilidad en el desarrollo de hipótesis dirigidos a análisis patológicos, de procesos de conservación y que resulte eficiente en el seguimiento, control sistemático del patrimonio”, son las siguientes.

En este caso, el objetivo ha sido ha sido configurar un instrumento rápido de diagnóstico porque ofrece la posibilidad de monitorizar las sucesivas intervenciones realizadas. Una vez examinados los programas basados en SIG y que además permitieran la conjugación con modelos tridimensionales, se optó por la elección de Autocad Map. Hasta ahora, los métodos empleados se basaban la utilización de ortofotografías o modelos inalámbricos. Este programa goza de ventajas pero también tiene una serie de inconvenientes. El mayor inconveniente es la importación del modelo tridimensional, permite importar la malla, pero no incorpora la textura. De ahí que se decidiera por realizar una simplificación del modelo a geometrías simples con la aplicación de la textura mediante una imagen rectificadas. Ninguno de los programas estudiados permitía la introducción del modelo mallado, y dentro de éstos, con Autocad era factible generar el modelo simplificado. Este inconveniente, provoca un coste de tiempo en la implementación del modelo. Pero, en contraposición, la ventaja es la lectura de superposición e integración de diversas temáticas o

topologías debido a que el archivo digital integra a su vez, datos geométricos e información descriptiva. Por consiguiente, permite realizar consultas sobre los datos descriptivos o análisis espaciales, produciendo simulaciones y análisis de predicciones. Asimismo su ventaja más notoria, es la lectura cruzada de datos, como por ejemplo, de los datos referentes a las patologías de degradación y los materiales que conforman la fachada. Se pueden extraer conclusiones como, obtener información adicional de la presencia de una alteración específica en relación al material o a la situación espacial sobre la fachada.

El SIM resulta adecuado para controlar la evolución del estado de conservación y las intervenciones realizadas en el objeto patrimonial en el tiempo, con el fin de tener una “conservación programada”. Este hecho se persigue por la superposición de modelos periódicamente en el mismo entorno gráfico. Este estudio es de interés para organismos u organizaciones que se dedican a la tutela del patrimonio arquitectónico porque ofrece una instrumentación operativa en cuestión de gestión, desde operaciones de catalogación a la preparación estrategias de conservación y el diseño de intervenciones específicas.

El quinto y último objetivo es el de “formular las técnicas que se basan en modelos tridimensionales consistentes en hacer más accesible el patrimonio a la sociedad a través de productos patrimoniales”. Porque la suma de las tecnologías más la representación gráfica han hecho un recurso capaz de convertir al patrimonio cultural en un espacio plenamente didáctico, interactivo y abierto a todos los participantes, con el consecuente propósito de elevar el valor de estos lugares.

El marco de referencia han sido la realidad aumentada, *Google*, las fotografías panorámicas, los entornos web, las animaciones y recorridos virtuales aplicados al caso de estudio de la villa de Ágreda. Siendo esta última, la más fascinante por la capacidad de realismo según el nivel de detalle, por el entorno virtual y por la navegación en primera persona. Es además la que más dedicación requiere por ser la más compleja, ya que las demás podrían considerarse inmediatas al disponer del modelo del bien patrimonial, en cambio la animación necesita la preparación del entorno y de las características de los elementos. De ahí, que para llegar a mayor público y que se valoren estos productos patrimoniales, sea necesaria una fidelidad con la realidad como ocurre con la documentación gráfica a partir del láser escáner o por fotogrametría con el tamaño que requiera la aplicación.

En resumen, son técnicas vinculadas al modelo tridimensional, a la interactividad y a la difusión de contenidos mediante recursos multimedia que facilitan la transmisión de mensajes relacionados con el patrimonio y que ayudan a comprender los espacios y edificios históricos hasta llegar a zonas rurales que quedan fuera de las rutas turísticas de las grandes ciudades, como ocurre en el caso de Ágreda. Que mediante operaciones meramente didácticas, museísticas o sobre la red, también hagan llegar el patrimonio a usuarios en situaciones de discapacidad y hacer que la actividad de cuidar nuestro patrimonio sea una tarea de colaboración entre jóvenes, usuarios y responsables del patrimonio.

Finalmente, la respuesta a todos los objetivos concretos dan contestación al principal objetivo, profundizar en la metodología de adquisición de datos relativa a la documentación del patrimonio arquitectónico, y más en concreto, en la generación de un modelo

tridimensional, cuya importancia radica en la captura fiable y fidedigna de la realidad del objeto para su utilización en diversos campos de aplicación concernientes del patrimonio cultural, como es el de la gestión, conservación y de la difusión del patrimonio.

Por ello es importante poner en consideración, que cuando se realiza un levantamiento del estado actual de un bien arquitectónico, suele estar enfocado a conocer la información y documentación como punto de partida para abordar un proyecto para una intervención sobre éste. La posibilidad de aunar esfuerzos en la tutela de nuestro patrimonio es máxima si se valoran las propuestas formuladas en esta tesis, que desde el propio sistema de gestión propuesto con una organización metodológica, el esfuerzo de la creación fidedigna del modelo tridimensional no caiga en saco roto como ocurría en el caso del IPCE y se asegure una trascendencia de la información, que sea accesible y pueda ser utilizada por todos los organismos a cargo de la protección de éste al máximo.

11.1. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez expuestas las conclusiones que dan respuesta a los objetivos planteados, se sugieren a continuación algunas futuras líneas de investigación.

Está claro que las técnicas de captura de datos están siempre en continuo desarrollo y poco a poco van avanzando no sólo en el desarrollo de escáneres más potentes, más fáciles de transportar y más económicos y donde la intervención del usuario sea menor. Sino también en lo que caracteriza al *software*, que sea único, más amigable, que consuma menos recursos del ordenador para mover la gran cantidad de datos y del que se puedan obtener todos los productos deseados. Además en este caso, con la utilización del láser no ha sido posible la adquisición de datos de cubierta, pero en un futuro se comenzarán a comercializar UAVs transportando pequeños escáneres para facilitar este tipo de trabajo.

También los avances en las técnicas derivadas de la fotogrametría serán significativos como ya se puede adelantar en la videogrametría, o proyectos como el que está desarrollando *Google*, el *Proyecto Tango*. Su objetivo es dotar a los teléfonos inteligentes y *tablets* de la capacidad de crear experiencias virtuales a medida que el usuario se mueve a través del mundo real. Así, los sensores del teléfono toman millones de medidas 3D cada segundo y construyen un modelo 3D. Este modelo es además navegable e interactivo porque utiliza motores como *Unity*, por lo que si además se combina con las *Oculus Rift*, puede dar lugar a una experiencia inmersiva total. También se están empezando a lanzar las *Moverio BT-200*, las gafas inteligentes de *Epson* que permite interactuar con contenido 3D o las *Google Glasses* que empiezan a entrar en nuestra sociedad como intenta promover la comunidad cántabra con la difusión de Altamira y su patrimonio. Están apareciendo otro tipo de dispositivos, que combinan

realidad aumentada con la movilidad humana, mediante gestos se pueden mover objetos del entorno virtual, y es posible gracias a *Leap Motion Controller*. Estas iniciativas pueden producir interesantes resultados si se combinan con las metodologías expuestas.

Por otro lado, se han mantenido como campos diferenciados el de la gestión y la conservación, es decir, los datos utilizados sobre CityGML han sido solo los del modelo tridimensional. Se podría llegar todavía más lejos, cuya complejidad se multiplicaría si se introdujeran sobre CityGML, además los datos gráficos y alfanuméricos elaborados en el Sistema de Información Monumental destinados a la conservación del patrimonio y a su vez, destinarse a la gestión. En este caso, sería necesaria establecer una normalización en todos lo procesos. Como posible solución, podría ser la utilización de programas BIM (Building Information Modeling) actualmente utilizados para el diseño de proyectos de arquitectura. Es una herramienta que permite crear un modelo de datos con los componentes arquitectónicos que integran los programas CAD con lo modelos de datos. Aunque todavía no posibilita la incorporación de las características del patrimonio cultural, poco a poco está avanzando en la incorporación de componentes.

A día de hoy, el campo de la estandarización y de la interoperabilidad sigue avanzando. Posiblemente, los criterios de estandarización que se planteaban en la gestión y posible conservación, podrían extenderse a su vez a las metodologías documentación gráficas del patrimonio.

12. DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

12. DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Todos los recursos y estudios realizados durante el transcurso de la investigación han sido objeto de diversas publicaciones en revistas, congresos y otros eventos. Se resumen a continuación, organizadas por categorías.

12.1. ARTÍCULOS EN REVISTAS

Título: Combinación de fotogrametría terrestre y aérea de bajo coste: el levantamiento tridimensional de la iglesia de San Miguel de Ágreda (Soria).

Autores/ras: Peinado Checa, Z. J.; Fernández Morales, A.; Agustín Hernández, L.

Revista: Virtual Archaeology Review, volumen 5, número 10, p. 51-58.

Año: 2014

ISSN: 1989-9947

Indexada en: Dialnet, DOAJ y Latindex.

Enlace de descarga: http://varjournal.es/doc/varj05_010_06.pdf

Título: Gestión del patrimonio cultural arquitectónico 3d mediante estándares abiertos. El Torreón de la Muela de Ágreda (Soria).

Autores/ras: Peinado Checa, Z. J.; Serrano Egido, J.; Peinado Checa, A.

Revista: e-rph. Revista electrónica de patrimonio, vol. 14, p. 98-119.

Año: 2014

ISSN: 1988-7213

Indexada en: CIRC, Dialnet y Latindex.

Enlace de descarga: <http://www.revistadepatrimonio.es/revistas/numero14/gestion/estudios/articulo.php>

Título: Ágreda, villa de las tres culturas

Autores/ras: Peinado Checa, Z. J.

Revista: Patrimonio. Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León, número 52, p. 46-50.

Año: 2014

ISSN: 1578-5513

Indexada en: Dialnet.

Enlace de descarga: <http://www.fundacionpatrimoniocyl.es/PUBL.asp?id=42>

12.2. ACTAS DE CONGRESOS

Título: Documentación gráfica para la obtención de indicadores de sostenibilidad en la rehabilitación de la vivienda social y la regeneración urbana.

Autores/ras: Agustín Hernández, L.; Fernández Morales, A.; Peinado Checa, Z. J.

Páginas (inicial-final): 360-365

Fecha: 25 al 27 de Febrero 2014

Edición de congreso: I Congreso Internacional de Vivienda Colectiva Sostenible

Tipo: Texto completo. Presentación oral.

Publicación: Actas del I Congreso Internacional de Vivienda Colectiva Sostenible

Tipo de edición de congreso: Congreso Internacional

Localidad: Barcelona

Editores: Josep María Montaner y Zaida Muxí Martínez

Título: Open standards for cultural heritage the three dimensional management

Autores/ras: Peinado Checa, Z. J.; Peinado Checa, A.

Fecha: 5 al 9 mayo de 2014

Edición de congreso: La conservazione preventiva e programmata. PPC Conference 2014

Tipo: Póster

Tipo de edición de congreso: Congreso Internacional

Localidad: Monza y Mantova

Título: Animaciones virtuales aplicadas a la difusión del patrimonio inmueble

Autores/ras: Peinado Checa, Z. J.

Fecha: 17 al 19 octubre de 2014

Edición de congreso: Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica

Tipo: Aceptación Abstract

Tipo de edición de congreso: Congreso Internacional

Localidad: Ciudad Real

12.3. IMPARTICIÓN DE CURSOS

Título: Representación Gráfica del Patrimonio

Autores: Peinado Checa, Z. J.; Fernández Morales, A.; Agustín Hernández, L.; Guerrero Campo, J. J.; Martínez Montiel, J. M.

Fecha: curso académico 2012-2013 y 2013-2014

Tipo de curso: Optativa del Grado en Estudios de Arquitectura

Tipo de participación: Impartición del curso completo y colaboradora en la organización

Duración: cada curso 15 semanas y 4 horas en cada semana

Centro: Universidad de Zaragoza

Título: Fotogrametría Arquitectónica

Autores: Peinado Checa, Z. J.; Fernández Morales, A.

Fecha: 01/04/2014

Tipo de curso: Sesión en Grado de Arquitectura Técnica

Tipo de participación: Ponencia invitada

Duración: 2 horas

Centro: Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia

12.4. EXPOSICIONES

Los días del 10 al 26 de octubre de 2014, se va a realizar una exposición en el Palacio de los Castejones de Ágreda llamada "Monográfica Arquitectónica" donde se recopilan trabajos realizados a lápiz y parte de los resultados que se recogen en esta tesis que hacen referencia a los monumentos más importantes de la villa de Ágreda. Para dicha exposición se ha realizado un catálogo todavía pendiente de publicar.

