

Modelo digital 3D de las pinturas murales del ábside central de la iglesia del Real monasterio de Santa María de Sijena (Huesca)¹

Patricia Uceda Gil

Resumen

Patricia Uceda Gil.

Licenciada en Comunicación Audiovisual. Titulada Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales por ESCYRA. Máster en Enseñanzas Artísticas en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en Europa de la ESCRBC.

patricia.ucedagil@gmail.com

El objetivo principal de este estudio es desarrollar la creación de modelos 3D digitales para la documentación de Patrimonio Cultural, pudiéndose utilizar estos, además, para elaborar propuestas de restauración virtual que pongan en valor aspectos tales como la técnica de ejecución, el valor artístico de la obra y la difusión del Patrimonio en el entorno social en el que se encuentran.

El avance de las nuevas tecnologías digitales, añadido a la accesibilidad de las mismas, hace que sea necesario explorar las posibilidades de estas nuevas formas de captación y visualización del Patrimonio. La posibilidad actual de almacenar en un único archivo documental digital gran cantidad de información, abre un abanico de opciones que empiezan por la manipulación virtual de la obra, pudiendo realizar operaciones de visualización, control, medición y reintegración sin tener que actuar en el objeto real.

Se propone la reconstrucción parcial de las pinturas murales del ábside central de la iglesia del Real monasterio de Villanueva de Sijena utilizando un modelo 3D obtenido por un sistema de escaneado digital denominado fotogrametría. Las pinturas actualmente se encuentran en fase de estudio por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Aragón, en colaboración con el Gobierno de Aragón. Estas se hallan en mal estado de conservación debido a la degradación de los aglutinantes y por la acción de las altas temperaturas provocadas por el incendio que tuvo lugar en 1936. Se dispone de información adicional que aporta un conocimiento suficiente para valorar la propuesta de reconstrucción virtual de la policromía original como son: análisis de pigmentos, análisis colorimétrico y fotografías anteriores al incendio de 1936. Con estos datos se desea ofrecer una imagen de la ventaja que supone el empleo imaginativo de programas y utilidades digitales para el estudio analítico y el examen técnico de los restos de pintura mural que aún se conservan en el ábside de la iglesia del Real Monasterio de Santa María de Sijena.

Palabras clave: Fotogrametría, reconstrucción virtual, gestión de color, modelo 3D, mínima intervención, documentación

1. Artículo basado en el Trabajo Fin de Máster, defendido con éxito en abril de 2018 en la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid, tutorizado por José Antonio Díaz Vargas.

Summary

The main objective of this study is to develop the creation of digital 3D models for the documentation of Cultural Heritage, that can also be used to develop virtual restoration proposals that highlight aspects such as execution of technique, the artistic value of the work, and the dissemination of Heritage in the social environment in which they are located.

The advance of new digital technologies, as well as their greater accessibility, make it necessary to explore the possibilities of these new ways of capturing and visualising Heritage. The current possibility of storing a large amount of information in a single digital archive opens up a whole range of options, beginning with the virtual manipulation of the work, with the ability to perform visualisations, controls, measurements and reintegration without having to interact with the actual object.

The partial reconstruction of the mural paintings of the central apse of the church of the Royal Monastery of Villanueva de Sijena has been proposed using a 3D model, obtained by a digital scanning system called photogrammetry. The paintings are currently being studied by the Aragon School of Conservation and Restoration of Cultural Assets, in collaboration with the Government of Aragon. They are in a poor state of conservation due to the degradation of the binding agents, and due to high temperatures caused by the fire that took place in 1936. Additional information is available which provides sufficient knowledge to assess the proposal for virtual reconstruction of the original polychrome, such as pigment analysis, colorimetric analysis, and photographs dating from before the fire of 1936.

Keywords: Photogrammetry, virtual reconstruction, colour management, 3D model, minimum intervention, heritage documentation

INTRODUCCIÓN

En el momento actual la conservación de bienes culturales está experimentando una transformación profunda, no solo desde el punto de vista técnico o metodológico, el más inmediato para aquellos que la profesan, sino desde las perspectivas conceptual y documental. Este cambio tiene su origen en la importancia creciente que ha ido adquiriendo para nosotros la personalidad material de la obra. Su comportamiento en el contexto expositivo, las alteraciones experimentadas, el tiempo y sus efectos, los defectos de ejecución son valores que adquieren cada vez más importancia ante nuestro deseo de conocimiento y comprensión y que se incorporan al mensaje transmitido hasta nosotros con un enorme poder de comunicación.

Se ha experimentado una gran evolución de los procesos de representación y documentación de los bienes culturales: desde los dibujos más o menos técnicos a la aparición de la fotografía y con ella, los avances tecnológicos que se han producido han logrado una mejora en los procesos de documentación del Patrimonio: fotografía de alta definición y elaboración de modelos tridimensionales. Lo mejor es que estos avances no son sólo tecnológicos, sino que también son metodológicos, es decir, cada vez más se cuenta con un libre acceso a estas herramientas y además se simplifican, acercándolas a un mayor número de profesionales.

El presente trabajo pretende abordar el uso de estas tecnologías emergentes en el campo de la conservación y restauración, ya que están íntimamente ligadas al concepto de la *mínima intervención* al posibilitar determinados estudios e intervenciones sobre la pieza sin la necesidad de manipularla.

RESTAURACIONES VIRTUALES SOBRE OBJETOS 3D DE PATRIMONIO

Es fundamental diferenciar entre una restauración material, aquella que se ocupa del objeto y se encarga de preservar su valor histórico- artístico, y la restauración virtual destinada al sujeto y a ese valor simbólico que proyecta el objeto (Escrivá y Madrid, 2010, p.13). Ya Riegl adelantó en 1903 que sería posible salvar los límites de las obras de arte, en cuanto a

su valor histórico-artístico, con la ayuda de las nuevas tecnologías:

Teniendo en cuenta el creciente desarrollo de los medios de reproducción artístico-técnicos, se puede confiar en que en un futuro (...) se podrán encontrar sustituciones lo más perfectas posibles de los originales documentales. Con ello se podrán satisfacer, al menos de un modo aproximado, los postulados de la investigación histórica científica, que constituye la única fuente de posibles conflictos con el valor de antigüedad sin que, debido a la intervención humana, el original pierda valor para el culto de la antigüedad. (Riegl, 2008, p. 65)

Las posibilidades que surgen en el mundo del patrimonio artístico con la aportación de las nuevas tecnologías son todavía incalculables; es necesario prestar atención también a los posibles problemas que puedan surgir por la legitimación de ciertas intervenciones que se apoyan en estos sistemas y que enmascaran criterios mercantiles o divulgativos mal concertados con las necesidades básicas de la conservación o con un elemental sentido de honestidad cultural. En todo caso, con la utilización de las nuevas tecnologías y las representaciones tridimensionales de los objetos culturales, se contribuye a la obtención de una abundante documentación² de las obras sin tener que alterar la estructura de éstas al tratarse de una técnica de análisis no destructiva. Así pues y, por recuperar al padre de la conservación actual, Cesare Brandi, es posible actuar sobre la *instancia estética* del bien cultural basándonos en la *instancia histórica* del mismo (Brandi, 2008, p. 33), ya que es un instrumento con el que no es necesario alterar la personalidad material del objeto sin modificar su autenticidad. El hecho de legitimar una operación sobre la instancia estética de la obra resulta, en todo caso, contradictorio, puesto que la imagen es una poderosa herramienta de evocación, y se ve revestida de matices de credibilidad y verosimilitud, fáciles de interpretar erróneamente por su poder de convicción. Dicho de otro modo, podríamos llegar a alejarnos del conocimiento en aras de la espectacularidad o la apariencia; podríamos convertir estas maravillosas posibilidades técnicas de acercamiento a las obras del pasado en un fin en sí mismas.

Los caminos que se generan con estos modelos en cuanto a la difusión del patrimonio son infinitos. Existen ya numerosos ejemplos de instituciones que se valen de la tecnología 3D para incluirla de una manera

2. "Uno de los valores principales de los bienes culturales es el histórico, con esta técnica estamos creando un documento adicional, del propio documento que es en sí el Patrimonio Histórico". González Moreno-Navarro, citado en Vico, 2012, p.15.

activa dentro de sus programaciones culturales ya sea con la visualización de las propias imágenes virtuales, o bien siendo utilizadas para elaborar facsímiles que tienen como objetivo la interacción más directa con el público, aportando cualidades intrínsecas a la obra como la incorporación del sentido del tacto³.

Además, el registro del patrimonio de una manera tridimensional sirve como base a otras operaciones como la realidad aumentada⁴, siendo ésta una forma de reconstrucción virtual que además se enfoca a una interacción directa con el público *in situ*. El acto comunicativo puede llegar a alcanzar una intensidad sensorial y psicológica inimaginables hasta ahora; no podemos ignorar el poder emocional de la contemplación estética ligada al conocimiento profundo de la obra de arte y sus vías de creación.

3. En el Museo de América (Madrid) se valieron de estas técnicas para la obtención de cuatro reproducciones de obra precolombina, orientadas a que pudieran ser tocadas por el público, con especial atención en las personas con alguna discapacidad visual.

4. La realidad aumentada (RA) es el término que se usa para definir una visión a través de un dispositivo tecnológico, directa o indirecta, de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta en tiempo real.

5. La calidad de las pinturas hace pensar en artistas de primera línea, quizá traídos desde Francia (ESCRBCA, 2017, pp. 1-2).

6. Convenio entre el Gobierno de Aragón y Fundación Caja Madrid para la restauración del Real monasterio de Santa María de Sijena. 2000.

PINTURAS DEL ÁBSIDE DEL REAL MONASTERIO DE SANTA MARÍA DE SIJENA.

El ábside de la iglesia del Real monasterio de Santa María de Sijena fue víctima de un brutal incendio en 1936 durante su ocupación por la columna anarquista de Durruti que avanzaba hacia Zaragoza. Lo que queda, por tanto, es un conjunto muy deteriorado, pero con fragmentos muy significativos de la iconografía original y con una cantidad importante de datos acerca de los materiales y técnicas originales.

Después de las conclusiones extraídas por un estudio realizado por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Aragón para el Departamento de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de Aragón acerca de estas pinturas murales⁵ se demuestra que los restos de policromía, menoscabados e intensamente alterados por el efecto del incendio declarado en 1936, durante la última Guerra Civil, permanecen por otra parte intactos en su ubicación original y proporcionan un contundente argumento justificativo para el plan de recuperación y atención integral que actualmente se desarrolla en el monasterio desde el año 2000⁶ y que, en su momento se pueda integrar en un futuro plan director.



Imagen 1. Estado actual de las pinturas murales en el ábside.

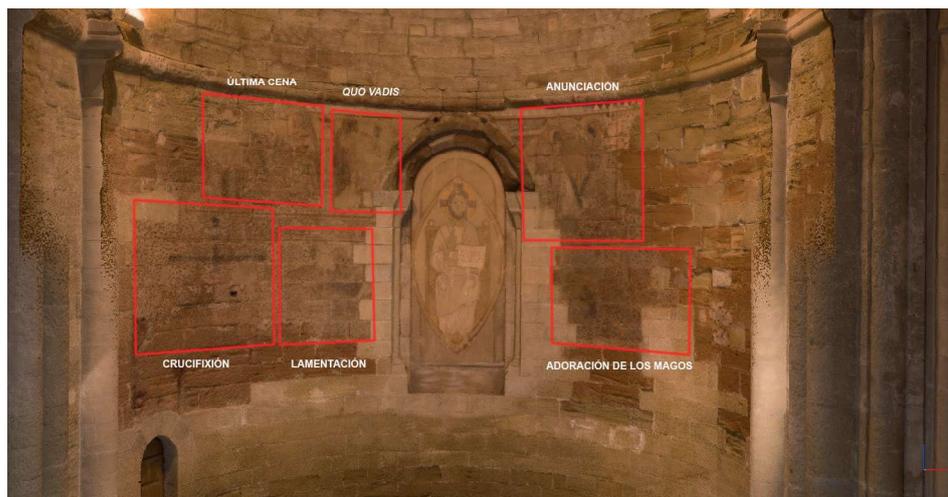
ESTUDIO ICONOGRÁFICO

La Anunciación ocupa toda la parte superior conservada al lado de la epístola junto a la tronera, en cuya clave aún quedan restos del Pantocrátor. En este lado, la escena inferior, por debajo del friso decorativo que marca la línea de imposta del arco de la tronera, representa la Adoración de los Magos, apenas reconocible en este caso.

Otras escenas identificables por comparación con las fotografías disponibles hechas antes del incendio⁷ son el Encuentro con San Pedro (*Quo Vadis*) y más hacia el lateral del ábside, la Última Cena. Separadas por la cenefa decorativa, en la parte inferior de la parte del evangelio se despliegan las escenas de la Crucifixión y la Lamentación. Algunas de las historias representadas son difíciles de reconocer, incluso con la fotografía antigua, puesto que esta revela una intervención que interesa al muro, y que probablemente obedece a la redecoración en torno al retablo hoy desaparecido, incluyendo una viga transversal en la imposta de la tronera. El entorno del retablo fue repicado para extender sobre el muro una decoración distinta, aunque las áreas cubiertas por aquel quedaron intactas.

7. Las fotografías anteriores al incendio de 1936 han sido recuperadas de los archivos disponibles en <http://dara.aragon.es/opac/app/results/juan+mora+insa+sigena>, y proceden de los fondos del CSIC y de la colección Mora Insa.

Imagen 2. Localización de las escenas en el ábside. Fotografía obtenida del modelo tridimensional obtenido por fotogrametría.



OBJETIVOS

- Elaborar una propuesta de restauración virtual del color mediante una metodología concreta: utilizando información de la composición de la capa pictórica, datos colorimétricos y la documentación fotográfica anterior al incendio de 1936.
- Poner en valor la utilización de los modelos 3D como archivo único de documentación, capaz de albergar información de distinta naturaleza perteneciente al bien cultural: dimensiones, textura, color, etc.
- Establecer una valoración de los recursos necesarios para la utilización de esta técnica y la puesta en práctica con un mínimo de material, accesible para cualquier institución o profesional del campo de la restauración.

METODOLOGÍA

Para la reconstrucción de las pinturas murales se ha seguido un sistema de trabajo según el siguiente esquema:

- Elaboración del modelo tridimensional del ábside mediante fotogrametría.
- Optimización del modelo fotogramétrico y obtención de la

textura de las pinturas murales.

- Reconstrucción digital de las pinturas con datos de color objetivos.

TOMA DE FOTOGRAFÍAS

Se tuvieron en cuenta una serie de recomendaciones previas durante el trabajo de campo realizado⁸ para la obtención de las fotografías utilizadas para elaborar el modelo tridimensional del ábside.

- Iluminación: se completó la iluminación existente en el interior de la iglesia con dos focos y paraguas difusores. Además, se apagaron las fuentes de luz puntual que podrían dar fallos a la hora de realizar el procesado de las fotografías.
- Realización de las fotografías en formato RAW, para poder gestionarlas adecuadamente sin pérdida de calidad posterior.
- Utilización de carta de color X-Rite Color Checker Classic para realizar una gestión adecuada de color de las fotografías tomadas.
- Toma de datos de color de la superficie con espectrofotómetro, para poder tener una referencia objetiva del color de la superficie.
- Realización de fotografías complementarias con teleobjetivo (300mm.) de las escenas representadas, para obtener detalles de la superficie pictórica.

Imagen 3. Realización de las fotografías con iluminación artificial complementaria, con paraguas difusores que evitan las sombras muy marcadas.



8. Fotografías tomadas el 20 de octubre de 2017.

Imagen 4. Modelo tridimensional completo del interior del ábside de la iglesia de Santa María de Sijena.

CREACIÓN DEL MODELO FOTOGRAMÉTRICO

Previamente se realizó la gestión de color de las 270 fotografías tomadas, utilizando los datos de la carta de color y realizando un perfil de cámara específico para esa iluminación; este perfil se aplicó en la gestión de las fotografías en el programa *Camara Raw*. Una vez gestionadas se exportaron a JPG.

La elaboración de la nube de puntos se realizó con el programa *Agisoft Photoscan*. Se dividió en 2 partes: la parte superior en calidad baja y la inferior (donde se encuentran las pinturas) en calidad media. De esta forma, se obtiene una malla más detallada en la parte más importante del modelo y se consigue aligerar el modelo en la zona que no contiene tanta información. Posteriormente se unen ambas partes para obtener un modelo tridimensional completo.



OPTIMIZACIÓN DEL MODELO FOTOGRAMÉTRICO

La optimización del proceso fotogramétrico es una parte del postproceso del modelo 3D. Consiste en “aligerar el peso de los modelos 3D de alto detalle geométrico sin perder ni la calidad de la visualización ni la capacidad de documentar un bien” (Fantini, 2012, p. 307). Se trata de una técnica que tiene origen en el mundo de la animación digital y los videojuegos, que necesitan modelos con alto nivel de detalle, pero también ligeros y manejables.

Existe una gran diferencia entre el decimado de objetos de forma automática⁹ y el proceso de optimización con retopología, ya que con este último se conserva más detalle y no resulta un cálculo aleatorio. Esta operación supone contar con una serie de ventajas, como son:

- Compresión: posibilidad de compartir y almacenar datos de una forma altamente compacta.
- Uso sencillo de muchos modelos en escenas complejas: por ejemplo, la utilización de modelos fotogramétricos en reconstrucciones virtuales.
- Reintegración de partes faltantes.
- Disposición lógica de las texturas.
- Ahorro de tiempo en los renderizados.

Se realizó la optimización del modelo fotogramétrico con Blender 2.78c¹⁰, realizando retopología y un bakeado¹¹ de la textura.

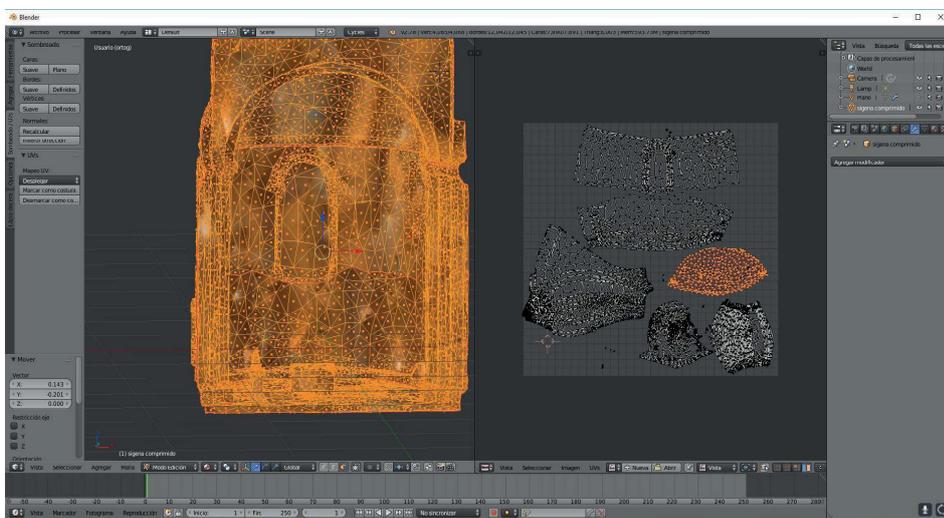
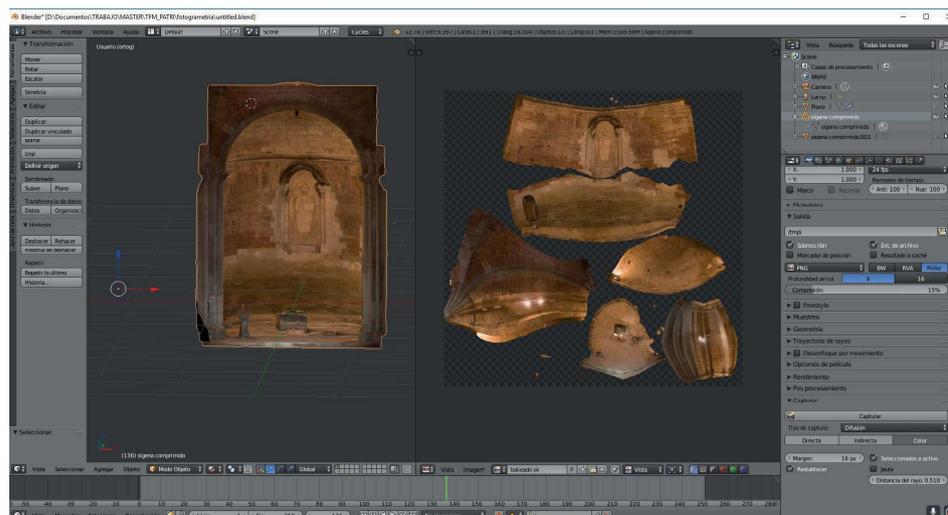


Imagen 5. Optimización del modelo fotogramétrico con Blender.

9. Operación que realizan los programas de procesado 3D que se basa en la reducción de la malla poligonal de manera automática, simplificando todas las partes por igual y perdiendo gran cantidad de detalle de la superficie.

10. Programa informático multiplataforma, dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales.

11. Crear una textura al modelo “ordenándola” para que no resulte tan caótica como la que se genera al realizar el procesado en fotogrametría.



RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LAS PINTURAS

Para la reconstrucción virtual de las pinturas se utilizaron todos los datos disponibles que se tenían al alcance:

- Análisis de pigmentos.
- Medidas espectrofotométricas de las pinturas y de probetas con los pigmentos que aparecen en las analíticas.
- Fotografías anteriores al incendio de 1936.
- Comparativa con otras pinturas coetáneas.

Estos datos sólo están al completo en la escena de la Anunciación, que es de donde se tomaron la mayoría de las muestras para la analítica y de donde se tomaron también las medidas espectrofotométricas.

MEDICIÓN DEL COLOR

Para obtener unos datos de color coherentes con la técnica de ejecución original, fue necesario tomar medidas con espectrofotómetro en probetas elaboradas con los pigmentos que fueron detectados en las analíticas, ya que las medidas tomadas *in situ* de las pinturas en su estado actual, son sobre los pigmentos alterados a causa de las altas temperaturas, cambiando en ocasiones hasta su naturaleza química original.

Ref. Pigmento de casa comercial Kremer	Acabado cromático	Composición
46000	Blanco de plomo	2PbCO3.2Pb(OH)2 Carbonato básico de plomo
11000	Tierra verde	-
11274	Ocre rojo	FeO(OH) Óxido de hierro hidratado
42000	Bermellón	HgS Sulfuro de mercurio sintético
42500	Minio	Pb3O4 Óxido de plomo
47000	Negro carbón	-
10700	Oropimente	As2S3 Trisulfuro de arsénico

Tabla 1. Selección de pigmentos identificados para reproducir la policromía de las pinturas murales.

Acabado policromo	Valor de cromaticidad			Color
	Iluminante D50 Observador 45°			
	L*	a*	b*	
Blanco de plomo + aceite de linaza	83,53	0,20	6,11	
Tierra verde + aceite de linaza	33,55	0,75	10,07	
Ocre rojo + aceite de linaza	37,28	24,97	16,02	
Bermellón + aceite de linaza	46,89	42,55	25,81	
Minio + aceite de linaza	61,22	56,14	62,93	
Negro carbón + aceite de linaza	20,02	0,41	0,89	
Oropimente + aceite de linaza	70,70	6,38	36,58	
Aerinita + cola animal	43,05	-15,27	-4,70	
Blanco de plomo + bermellón (carnación) ¹²	65,73	14,55	13,06	

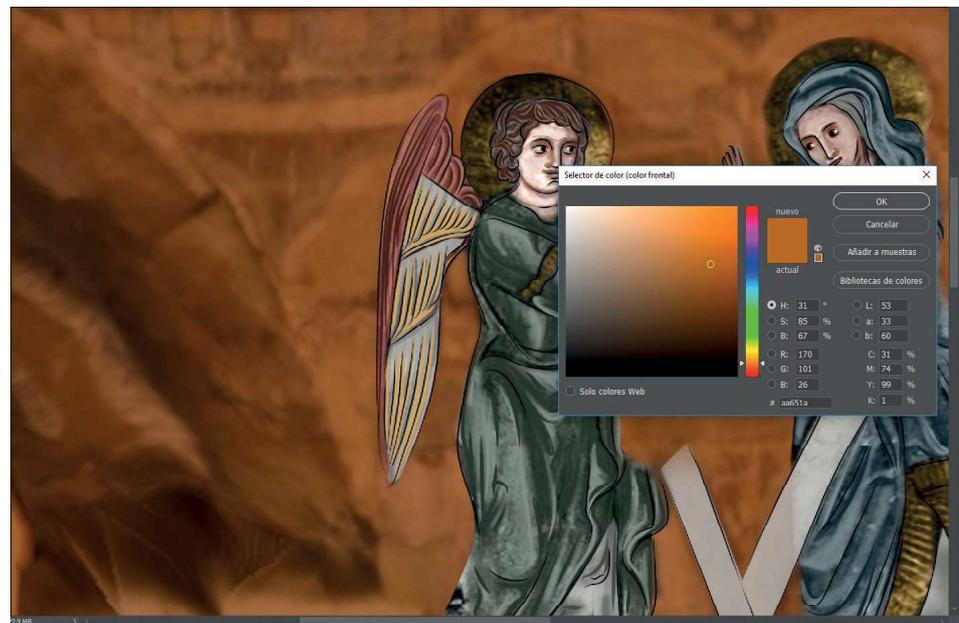
Tabla 2. Paleta virtual elaborada en relación con las pinturas murales.

Imagen 6. Selector de color en Adobe Photoshop, donde se pueden seleccionar los valores L*a*b* para rellenar los campos de color.

Las probetas fueron realizadas con mortero de cal y aglutinadas al aceite, imitando la hipótesis que se baraja de la técnica original (ESCRBCA, 2017, p. 20).

Para la medición del color se utilizó un espectrofotómetro X-Rite modelo *i1pro2* y la gestión de la información se ha realizado con el programa *Babel Color CT&A*, versión 4.0.0 b298 y una hoja de cálculo. Este espectrofotómetro computa valores espectrales en un intervalo de 10nm en el rango visible, con un iluminante normalizado a 45°.

Finalizada la recopilación de los datos colorimétricos, el procedimiento para realizar la reconstrucción de color consiste en trasladar los valores L*a*b* a las zonas de la pintura que tengan esa materia colorante (según los análisis químicos). El programa utilizado para ello es Adobe Photoshop CC.



Debido al mal estado de conservación de las pinturas resulta muy complejo tener los datos suficientes para poder elaborar la reconstrucción con un criterio totalmente objetivo. Sólo se cuenta con las zonas identificadas en los análisis para saber el campo cromático que ocupan, además, las conclusiones de dichas analíticas no han resultado del todo concluyentes dada la transformación de los pigmentos a causa del fuego. Por esto resulta necesario apoyarse en material complementario para poder finalizar la escena de una manera coherente, utilizando pinturas de los mismos rasgos estilísticos.

12. Medida tomada in situ del mausoleo de San Galindo en la ermita de N^a S^a de Salas (Huesca).

Uno de los materiales que más información aporta es la fotografía anterior a 1936. Ésta se realizó en blanco y negro, pero aporta una información valiosa del dibujo y detalles como los pliegues, trazados y decoraciones que en la actualidad se encuentran perdidos. Se procedió a colorear esta fotografía con la paleta virtual elaborada con las mediciones colorimétricas de las probetas, de esta forma fue posible realizar una aproximación a la escena con color resultando un referente fiable para elaborar la reconstrucción



Imagen 7a y 7b. Coloreado de la fotografía en blanco y negro con los valores $L^*a^*b^*$ correspondientes a la paleta digital elaborada según los análisis de pigmentos. Las zonas sin colorear no disponen de información objetiva para saber que cromatismo poseen.

Imagen 8. Resultado final de la reconstrucción de la escena de la Anunciación en Adobe Photoshop.

La información de color no fue suficiente para tener datos objetivos de toda la escena, por lo que es imprescindible completar las zonas cromáticas por aproximación estilística, comparando estas pinturas con otras de la misma época.



Imagen 9. Reconstrucción virtual de la escena de la Anunciación de las pinturas murales de la iglesia de Santa María de Sijena (Huesca).

En las zonas que no se ha obtenido ninguna información no se ha completado la imagen, así como los fondos, que se ha optado por poner un color plano neutro para destacar ambas figuras. Con el perfilado negro se quiere marcar las formas, aunque no se disponga de información suficiente para completar la decoración cromáticamente, se puede ver el esquema decorativo de la escena. Los resultados obtenidos pueden visualizarse en la página web Sketchfab en el siguiente enlace: <https://skfb.ly/6xPUw>



CONCLUSIONES

13. Como válida se refiere a completamente objetiva con los datos de las analíticas.

14. El estado de las materias colorantes después del incendio ha dado lugar a transformaciones químicas de los pigmentos y la desaparición casi total de los aglutinantes orgánicos.

Tal como se ha señalado en los objetivos, la reconstrucción virtual de las pinturas murales del ábside de la iglesia del Real monasterio de Santa María de Sijena ha probado ser una herramienta válida para la recuperación de la imagen apoyada en criterios de mínima intervención, sobre todo en los casos en los que el estado de conservación no es bueno y la lectura correcta de la imagen no es posible.

La falta de información colorimétrica en todos los puntos de la obra ha supuesto una limitación en este estudio, quedando partes de la escena sin información válida¹³ para su reconstrucción virtual, ya que el acerca-

miento de color se ha basado en la toma de ocho muestras puntuales de la escena que no han sido del todo concluyentes¹⁴. Ha sido necesario, por tanto, la comparativa con otras obras de la misma época para establecer hipótesis coherentes y completar parcialmente la información de color de la escena seleccionada. La información de las fotografías de 1936 utilizadas como referencia en este estudio, ha resultado limitada también por la baja resolución de estas imágenes, quedando ocultos detalles significativos de las pinturas.

Con todo esto el resultado ha de considerarse un acercamiento válido al posible aspecto de las pinturas en su origen, recuperando la lectura de la imagen y parte de su valor comunicativo, siempre con la prudencia de la hipótesis planteada y dejando constancia de la objetividad que se esconde detrás de cada color aplicado virtualmente. Complementariamente se plantea un posible método de visualización y difusión de los resultados obtenidos, como es la realidad aumentada. Este método supone una alternativa de restauración para un conjunto que se encuentra altamente degradado y que permite la posibilidad de recuperar la lectura original de la obra. Además, no supone de ningún añadido en el ábside de la iglesia, pudiendo permanecer su función de culto religioso intacta.

Se recomienda como propuesta futura la reconstrucción total de las pinturas y el diseño de visualización en realidad aumentada, aplicando esta metodología dentro de un proyecto de restauración de las pinturas murales, siendo necesario en todo caso el apoyo de los organismos de los que depende el monasterio. Para continuar este trabajo sería imprescindible realizar analíticas de la capa pictórica en el resto de las escenas y apoyarlo con un informe histórico-artístico en profundidad, ya que resulta imposible de otra forma, establecer que pigmentos componían la variedad cromática del conjunto.

REFERENCIAS

Escrivá, F., y Madrid, J. (2010). El mundo virtual en la restauración. Aplicaciones virtuales para la conservación y restauración del patrimonio, *ARCHÉ. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV* (4 y 5), 11-20.

Brandi, C. (2008). *Teoría de la restauración*. Madrid: Alianza Editorial.

Carcas, R. (2017). *Informe espectrofotométrico del conjunto mural del ábside de la iglesia del Real Monasterio de Santa María de Sijena (Huesca)*. Huesca.

ESCRBCA. (2017). *Estudio material de los restos pictóricos murales conservados en el ábside del Real Monasterio de Santa María de Sijena*. Gobierno de Aragón, Departamento de Educación Cultura y Deporte, Zaragoza.

Fantini, F. (2012). Modelos con nivel de detalle variable realizados mediante un levantamiento digital aplicados a la arqueología. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica* (19), 307.

GEOARTEC Technical Solutions. (2017). *Caracterización petrográfica y alteraciones de dos muestras procedentes del real monasterio de santa maría de Sijena y de la iglesia catedral de Roda de Isábena*. Universidad de Zaragoza: Zaragoza.

Larco Química y Arte S.L. (2017). *Análisis químico de las pinturas murales del ábside de la iglesia del Real Monasterio de Santa María de Sijena (Huesca)*. Madrid.

Miguel Sancho, N. (2017). *Análisis de difracción de rayos x del conjunto mural de la iglesia de Santa María del Real Convento de Sijena*. Universidad de Zaragoza: Zaragoza.

Riegl, A. (2008). *El culto moderno a los monumentos*. Madrid: Machado libros.

Vico López, M. D. (2012). *La "restauración virtual" según la interpretación arquitectónico-constructiva: metodología y aplicación al caso de la Villa de Livia*. Barcelona: Universidad de Cataluña.