

<http://artnodes.uoc.edu>

ARTÍCULO

NODO «HUMANIDADES DIGITALES: SOCIEDADES, POLÍTICAS, SABERES II»

Fotogrametría y análisis lumínico Interacciones en el estudio de la arquitectura barroca

Pedro Luengo

Universidad de Sevilla

Javier Luengo

Universidad Rovira i Virgili

Fecha de presentación: abril de 2018

Fecha de aceptación: noviembre de 2018

Fecha de publicación: enero de 2019

Cita recomendada

Luengo, Pedro; Luengo, Javier. 2019. «Fotogrametría y análisis lumínico. Interacciones en el estudio de la arquitectura barroca». En: Nuria Rodríguez-Ortega (coord.). «Humanidades digitales: sociedades, políticas, saberes II». *Artnodes*. N.º 23: 62-71. UOC. [Consulta: dd/mm/aa] <http://dx.doi.org/10.7238/a.v0i23.3221>



Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.

Resumen

Las humanidades digitales ponen a disposición de los investigadores nuevas herramientas para solventar cuestiones que hasta este momento resultaban inaccesibles, y no solo fórmulas para visualizar con un aspecto más actualizado y atractivo propuestas por otro lado tradicionales. En este contexto, este artículo pretende demostrar que el uso combinado de la fotogrametría y el análisis lumínico forman ya una herramienta útil para solucionar cuestiones planteadas por la historiografía sobre arquitectura, en especial para la época barroca. En esta ocasión, se estudia exclusivamente la utilización de la luz natural en espacios religiosos, sin especial atención por el momento al uso de las velas. Para ello se ha tomado un caso concreto, el

de la iglesia conventual de San Jacinto (Sevilla), exponiéndose los resultados obtenidos con la combinación de diferentes técnicas: levantamiento a partir de mediciones, fotogrametría y análisis lumínico por ordenador. Como resultado se han obtenido varios niveles de detalle que permiten evaluar cada una de ellas. Con estos datos se ha intentado dar respuesta a una cuestión científica previa: precisar con carácter preliminar lo que se había definido como espacio cueviforme determinando los niveles de lux de cada parte del edificio. Más concretamente, se ha conseguido un modelo arquitectónico del uso de la luz natural que, comparado con otros edificios estudiados previamente, permite aportar nuevos datos sobre la iluminación del espacio religioso durante la edad moderna en Andalucía, lo que puede extrapolarse también a otras zonas de la península y a otros territorios ultramarinos.

Palabras clave

humanidades digitales, fotogrametría, análisis lumínico, arquitectura barroca, historia del arte

Photogrammetry and light analysis Interactions in the study of Baroque architecture

Abstract

Digital Humanities have given researchers access to new tools to resolve issues that had been inaccessible until now, beyond simply giving formulas to visualize traditional objects with a more up-to-date and attractive appearance. Within this context, this article aims to demonstrate that the combined use of photogrammetry and light analysis gives us a useful tool for resolving issues arising in the historiography of architecture, particular for the Baroque period. In this case, the study focuses exclusively on the use of natural light in religious buildings, without paying particular attention to the use of candles for the time being. To do so, the article focuses on the specific case of the convent church of San Jacinto (Seville), presenting the results obtained by combining the different techniques: measurement-based surveying, photogrammetry and computer light analysis. The results include varying levels of detail that enable each of them to be evaluated. This data has been used to try to provide a response to a long-standing scientific issue: providing a preliminary specification of what has been defined as a cave-shaped space by determining the levels of light in each part of the building. More specifically, an architectural model of the use of natural light has been achieved which, compared to other buildings studied previously, enables new data to be gathered with respect to the illumination of religious buildings in the Middle Ages in Andalusia, which can also be extrapolated to other areas on the Iberian Peninsula and abroad.

Keywords

Digital Humanities, photogrammetry, light analysis, Baroque architecture, Art History

En las últimas décadas han aparecido diferentes técnicas de análisis digital del patrimonio inmueble que permiten plantear nuevos retos historiográficos, dentro de lo que ha venido a llamarse historia digital del arte (Bentkowska-Kafel 2015). Este artículo pretende sacar partido de la unión de dos de ellas: la fotogrametría y el análisis lumínico de interiores, aplicándolas a un caso significativo: la iglesia de San Jacinto en Sevilla, estudiada previamente a partir de la documentación de archivo (Nogales Márquez 2015). Además, el presente estudio

permitirá que estos datos se comparen con los de otros templos similares (Almodóvar, Cabeza y García de Casasola 2001; Luengo 2016; Luengo, 2018), avanzando así en una fase preliminar en el objetivo mayor de una historia del arte global basada en la gestión masiva de datos (Rodríguez Ortega 2017).

La fotogrametría debe considerarse como un método de alta fiabilidad en la toma de datos de elementos tridimensionales siempre y cuando se tengan en cuenta los parámetros que determinan la

precisión del resultado (Luengo, Martínez-Navarro y Lorenzo 2018). Uno de los primeros usos de la fotogrametría se dio en la documentación paramental del Hotel des Invalides de París en 1849, llevado a cabo por Aimé Laussedat (Luhmann, Robson, Kyle y Harley 2006). Desde entonces, la fotogrametría ha evolucionado notablemente desde los sistemas analógicos hasta la automatización digital actual. Este último avance, patentado por David Lowe en 1999 (Lowe 2004) con su algoritmo SIFT (Scale Invariant Feature Transform), ha tenido como consecuencia una aplicación cada vez más habitual en multitud de diferentes disciplinas científicas. Además de una mayor precisión en los resultados, el proceso es automático, obteniendo en poco tiempo millones de puntos correlacionados entre las imágenes proporcionadas a los programas informáticos de fotogrametría (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey y Reynolds 2012). Tras la comercialización en 2010 del programa Agisoft PhotoScan, que permite de forma sencilla convertir un conjunto de imágenes en un modelo tridimensional exportable en los formatos más populares, se ha generalizado el uso de esta técnica tanto en el ámbito académico o profesional como *amateur*, dando como resultado la proliferación de plataformas como Sketchfab desde 2012. Aunque todavía hoy la fotogrametría mantiene un enfrentamiento con otras técnicas como el escáner 3D, la primera presenta importantes ventajas para la investigación en patrimonio al mantener la textura con gran calidad, información fundamental para el análisis lumínico, además de otras aproximaciones. Sus aplicaciones han sido muy variadas, aunque centradas principalmente en el estudio de elementos de pequeño o medio formato. En este caso, se pretende insistir en sus beneficios para la investigación de cuestiones arquitectónicas de gran tamaño de las que se ha escrito extensamente en los últimos años (Almagro Gorbea 1993; Almagro Gorbea 2004; Lerma-García et. al. 2005; Remondino y El-Hakim 2006; Luengo 2016). Esto hará aún más interesante una herramienta accesible económicamente y muy versátil, utilizada hasta ahora con fines divulgativos principalmente.

El análisis lumínico de espacios históricos es una materia poco desarrollada hasta el momento, aunque con notables ejemplos recientes. Desde hace algún tiempo, diferentes investigadores como Bonet Correa (1978, 1995) se han preocupado por este particular. A pesar de no contar con mediciones, este estudioso planteó el concepto de espacio cueviforme para describir los interiores de los templos barrocos españoles del siglo xvii. Más tarde, ya a finales del siglo xx, se iniciaron estudios basados en mediciones, siendo en las últimas dos décadas cuando el interés en esta línea ha crecido (Almodóvar, Cabeza y García de Casasola 2001; Jabi y Potamianos 2007). Tras unos primeros años en los que esta metodología podría considerarse emergente, la reciente publicación de un manual por la Universidad de Oxford supone su consagración (Papadopoulos 2017). Aunque la gestión de la luz es un aspecto fundamental para entender el diseño arquitectónico, no lo es menos para el estudio de la localización de otros bienes artísticos, desde la pintura hasta

la platería, pasando por retablos u otro tipo de mobiliario. Para las cuestiones arquitectónicas, se prevé entender qué zonas estaban iluminadas de forma más potente, con una mayor exposición de lux, en qué fechas y durante cuánto tiempo, para entender mejor la función de esos espacios.

Aunque las dos técnicas son interesantes por separado, su combinación ofrece algunas ventajas. El levantamiento fotogramétrico es una herramienta que permite obtener rápidamente estructuras tridimensionales poligonalmente muy complejas, como es el interior de una iglesia barroca con su mobiliario. Se trata, además, de una reconstrucción digital más fiel que la realizada manualmente. Por otro lado, el análisis lumínico es mucho más completo cuando incluye en su análisis los obstáculos producidos por los elementos de mobiliario. Además, permite un análisis final mucho más intuitivo de los resultados.

El objetivo principal de este artículo es concretar algunas hipótesis tradicionales sobre la arquitectura barroca española que, aunque admitidas, carecían de cualquier base científica, más allá de las sensaciones perceptuales. Previamente, y con un carácter más metodológico, se pretende demostrar que un análisis lumínico de interiores de edificios históricos realizado a partir de simulaciones digitales basadas en fotogrametría es más preciso y, por tanto, más adecuado. Para probar esta hipótesis es necesario entender el proceso técnico y su nivel de exactitud, para evaluar posteriormente la incidencia sobre la investigación. Todo esto lleva a mostrar que las humanidades digitales, una vez alcanzadas las mejores técnicas disponibles, deben ofrecer respuestas nuevas a preguntas tradicionales, sin posibilidades de resolución desde los recursos disponibles hasta ese momento. Así, se espera definir preliminarmente el modelo lumínico del espacio cueviforme apuntado por Bonet Correa (1995, 18, 20), y ofrecer las diferencias de este patrón tanto con lo desarrollado a finales de siglo



Fig. 1. Fotografía realizada con dron en interior de la iglesia de San Jacinto (Sevilla).

por el academicismo, como por lo habitual en otras naciones, sin incidir en todo esto el factor geográfico.

Para este estudio de caso, el edificio seleccionado ha sido la iglesia conventual de San Jacinto (Sevilla), al que se suman los evaluados en otras publicaciones muy recientes. Este ha sido reconstruido digitalmente por dos vías. En primer lugar, se hicieron mediciones de una forma tradicional con la intención de levantar un modelo CAD. En este caso se obvió el mobiliario al completo. En segundo lugar, se procedió a un levantamiento a partir de fotogrametría (fig. 1).¹ En todo momento se ha intentado utilizar una apertura de diafragma intermedia para aprovechar al máximo la luminosidad existente, pero al mismo tiempo ganar en profundidad de campo, evitando también un diafragma excesivamente cerrado que provocase una difracción elevada en las imágenes. En la misma línea se evitó abusar de un ISO elevado a pesar de las condiciones lumínicas adversas en las que se suelen encontrar las iglesias durante este tipo de trabajos. Para contrarrestarlo se utilizó en todo momento un trípode, pero sin recurrir a exposiciones prolongadas que generasen ruidos por la elevación térmica del sensor.² Al subdividir el proceso de documentación en grandes secciones del edificio, se tuvo presente un margen de solape de cada una de ellas con respecto a las colindantes, siempre superior a un 80 % tanto en el eje vertical como en el horizontal. Este proceso supone la toma de un mayor número de fotografías, pero aumenta la fiabilidad a la hora de alinearlas, al poder contar con mayores puntos de apoyo. Posteriormente, se procesaron las imágenes raw para corregir los balances de blancos, así como las aberraciones cromáticas y las deformaciones ópticas, utilizándose finalmente en el montaje final el formato jpg.

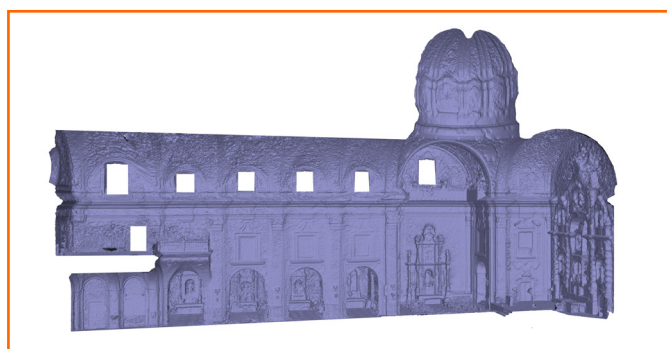


Fig. 2. Resultado seccionado del levantamiento digital a través de fotogrametría de la iglesia de San Jacinto (Sevilla).

La alineación de las fotografías en Agisoft PhotoScan se realizó por bloques para poder concentrar todo el consumo computacional en zonas más delimitadas y, en consecuencia, poder obtener un mayor detalle. Tras la creación de las diferentes nubes densas de puntos de cada bloque, se procedió a su alineación para obtener el modelo completo del interior de la iglesia (fig. 2).³ Puesto que el levantamiento tendría que ser posteriormente simplificado en cuanto al número de caras no se procesó a la máxima calidad posible, evitando un consumo innecesario. Tras la obtención del modelo se llevó a cabo un procedimiento de retopología para, reduciendo el número de caras, evitar transformar la morfología generada. Con ello se agilizarían los cálculos posteriores en los programas de análisis lumínico sin afectar a los resultados por variación morfológica.

Ambos modelos, el CAD elaborado manualmente y el modelo fotogramétrico, fueron utilizados para sendos análisis lumínicos. Por un lado, el primero fue levantado directamente en Dialux. Para facilitar el trabajo, se tomó como apoyo el modelo 3ds. levantado por fotogrametría, importado en este programa. Aun así, el edificio analizado es el levantado en CAD, no el modelo tridimensional importado. Además de abrir los vanos conservados, se han abierto otros que hoy se conservan, aunque cegados y que probablemente formarían parte del diseño original. Por otro lado, el mismo modelo levantado por fotogrametría ha sido analizado directamente en Relux. Esta doble vía permite comparar los resultados usando un modelo CAD, muy exacto al realizarse a partir de un modelo fotogramétrico, frente al análisis directo de la fotogrametría.

1. El levantamiento fotogramétrico: ventajas metodológicas para el trabajo de campo

Los edificios se han documentado tradicionalmente a partir de levantamientos manuales y posteriormente con estaciones totales, identificando los vértices y enlazando después los puntos generados para representar las plantas y los alzados (Martín 2014). En las últimas décadas, y gracias al avance de la computación y las herramientas digitales, estas herramientas han empezado a sustituirse por escáneres láser 3D, que en un menor tiempo obtienen millones de puntos con precisión milimétrica (Yan *et al.* 2017). Además de esta posibilidad, existe la opción de llevar a cabo la documentación a partir de fotogrametría, herramienta que según estudios recientes es

1. Para ello, se ha utilizado una Nikon D7100 con un objetivo de 18 mm de distancia focal.

2. Todas las imágenes fueron realizadas en formato raw., con generación automática en formato jpg. De esta manera, a medida que se iban documentando las diferentes secciones de la iglesia, se podían volcar en los correspondientes discos duros de almacenamiento e ir montando a baja calidad las secciones volcadas a partir de las imágenes jpg. Con esta metodología se podía asegurar la copia de las imágenes en soportes de almacenamiento más seguros que las tarjetas SD y comprobar que la totalidad de las imágenes tomadas quedaban registradas y alineadas. Se tomaron un total de 4.068 imágenes repartiéndose en 953 para la cúpula, 1.190 para la nave izquierda, otras 1.190 para la nave derecha y 735 para la nave central.

3. Se obtuvo un total de 1.737.739 caras a partir de un modelo de mediana calidad de 82.760.643 puntos.

equiparable con los citados escáneres (Wilkinson *et al.* 2016), aunque lo ideal sea la combinación de ambas técnicas. En el presente trabajo, se utilizó la cámara acoplada a un trípode de gran altura (de hasta 8,5m), disparándose remotamente, y accediendo así a espacios que quedarían ocultos para un escáner 3D. A ello se le suma la textura de gran resolución al utilizar imágenes de 6000x4000 px a 300ppp. En el estudio lumínico tridimensional, la documentación precisa de la morfología es fundamental para que las superficies creen sombras que sean posteriormente analizadas, pero similar importancia tiene conocer los materiales y texturas que poseen dichas superficies para que el programa pueda realizar los cálculos precisos de reflectancia y en consecuencia ofrecer los gradientes de luminosidad de los espacios, ya sean como luz directa, penumbra o sombras duras.

Una vez levantado el edificio en CAD (fig. 3) y en fotogrametría (fig. 4), se ha procedido al consecuente análisis lumínico. Como era de esperar, el resultado general obtenido es muy similar, permitiendo en cualquiera de los casos elaborar conclusiones útiles para la discusión en historia de la arquitectura. Dicho esto, el análisis a partir de la fotogrametría resulta más detallado y por ello ofrece varias ventajas que se verán multiplicadas según se desarrolle el software. En primer lugar, el modelo incorpora el mobiliario del templo. En este caso se en-

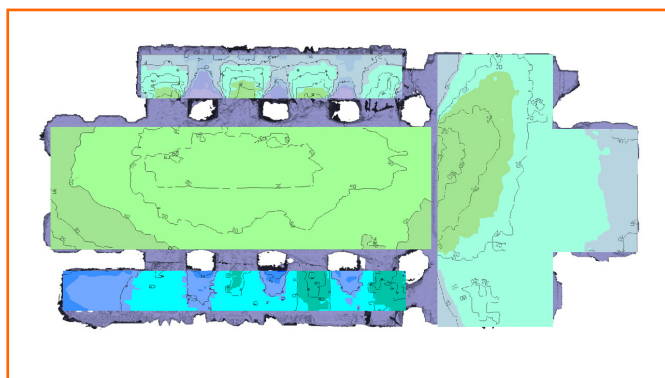


Fig. 3. Planta de la iglesia de San Jacinto (Sevilla) obtenida a partir de fotogrametría, sobre la que se muestra el resultado conseguido del análisis de un archivo CAD.

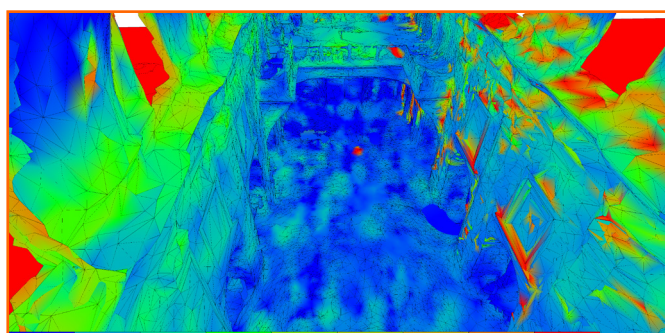


Fig. 4. Planta de la nave principal de la iglesia de San Jacinto (Sevilla) obtenida a partir de fotogrametría, analizada en Relux.

cuentra solo adosado, sin ofrecer sombras destacables, mientras que, en otros espacios, estos elementos suponen un punto determinante para la incidencia de la luz natural. En segundo lugar, tanto retablos como lienzos pueden convertirse en objeto de análisis lumínico, lo que resulta más sencillo a partir de este segundo procedimiento. En tercer lugar, el modelo fotogramétrico es mucho más complejo lo que ofrece una superficie cuya reflexión será diferente dependiendo de los materiales, lo que afecta al detalle de los resultados lumínicos como se puede comprobar en la comparación de las figuras 3 y 4. Aun así, los resultados varían escasamente en la mayoría de los casos, pero de forma excepcional, como ocurriría con el habitual uso de espejos durante el siglo XVIII, pueden afectar notablemente a los resultados. En este caso, cabe subrayar que una de las ventajas de la fotogrametría es la documentación de las texturas, información que puede resultar relevante para el análisis lumínico tan pronto como el software se desarrolle en ese sentido.

2. La iglesia de San Jacinto (Sevilla)

Para validar estas técnicas y sus posibilidades, se ha seleccionado un caso cuyo análisis superficial ofrecía numerosas posibilidades. La iglesia del convento dominico de San Jacinto en Sevilla fue diseñada por Matías José de Figueroa (1689-1740), quien lideró los trabajos desde 1730 hasta su fallecimiento en 1740, aunque las obras no se finalizaron hasta 1774. La importante familia de arquitectos a la que pertenece este autor ha sido abordada recientemente en una tesis doctoral (Nogales Márquez 2015). Frente a otros templos anteriores sevillanos, este muestra una evidente preocupación por la gestión lumínica, lo que probablemente pueda ampliarse también al confort térmico, debido a la localización de óculos ovales en una de las calles laterales, al escaso número y tamaño de los vanos del tambor de la media naranja, o al diseño de los ventanales de la parte superior, por citar algunas de las particularidades exteriores del edificio frente a otras obras contemporáneas.

Un análisis exterior de la iglesia de San Jacinto muestra un alto número de vanos de diferentes formas y alturas, que pueden considerarse originales. A los actualmente en uso habría que añadir otros que han sido manifiestamente cegados. Entre estos vanos hay que distinguir los que están diseñados para servir de ventilación y los que tienen una finalidad lumínica. La diferencia es clara, ya que estos últimos conectan con el interior del templo. Aunque los primeros ofrecen una importante información para el estudio de la confortabilidad térmica en edificios históricos, en este trabajo se abordarán solo los segundos. San Jacinto tiene una orientación suroeste-noreste, obligada por la trama urbana previa. El lado de la Epístola linda con la calle, por lo que pueden encontrarse varios tipos de vanos. En este sector se ha podido comprobar que los inmuebles circundantes no afectarían a la luz de la iglesia, por ser de menor

altura incluso en el siglo XIX. En este lado cabe señalar en primer lugar tres de forma ovalada en la separación de cada tramo; dos óculos circulares en las capillas de los pies, y dos cuadrados en las capillas más cercanas al crucero. El lado del Evangelio daba acceso al claustro y otras dependencias del convento, por lo que no cuenta con vanos de iluminación conocidos. En la nave central, la luz entra a través de un óculo ubicado en los pies del templo, y gracias a las ventanas de los lunetos de la bóveda de cañón. Además, en los brazos del crucero también se encuentran dos vanos de similar tamaño a los diseñados para la nave. A estos habría que añadir los del tambor del crucero. Se trata de ocho pequeñas ventanas de perfil polilobulado, más cuatro balcones que debieron permanecer cerrados. Toda esta estructura de planta circular se encuentra embutida en un módulo cuadrado con solo ocho pequeños vanos polilobulados al exterior. La entrada de luz al tambor sería por tanto indirecta y muy limitada. Esto hace que la media naranja tenga un carácter meramente ornamental, sin un fin lumínico destacable.

3. El espacio cueviforme en la arquitectura barroca española. El caso de San Jacinto

Muchos estudios previos han documentado edificios con fotogrametría o los han analizado con simulaciones de luz natural, pero en línea con lo planteado en el objetivo, este trabajo pretende enlazar estas herramientas con el discurso historiográfico tradicional, para resolver cuestiones con nuevas aproximaciones. Los escasos estudios previos sobre iglesias barrocas muestran que las zonas más expuestas lumínicamente son las de la nave central, con un mayor porcentaje en alturas medias y altas (Almodóvar, Cabeza y García de Casasola 2001). Esto hace que las zonas con mayor decoración artística, como son los retablos, las yeserías o las pinturas murales, quedarían habitualmente bañadas por una luz muy tenue y durante pocas horas al año. Esto restaría nivel de detalle en la percepción por el visitante, dando un mayor significado al claroscuro de las obras pictóricas. De la misma forma, el presbiterio suele ser un espacio especialmente sombrío en comparación con el resto del edificio. Obviamente, esto formaba parte del diseño arquitectónico, dejando oculto el sagrario y los elementos devocionales durante buena parte del año. Solo en ocasiones principales, todo esto era iluminado por velas de cera que ofrecían una luminosidad diferente a la natural y más controlable.

Para el caso de San Jacinto, tras analizar los resultados obtenidos por el simulador, puede decirse en primer lugar que el arquitecto consiguió una iluminación muy homogénea, donde cada sector del edificio recibía conscientemente una cantidad de luz bien determinada. De hecho, se evita por completo el efecto foco que supone la

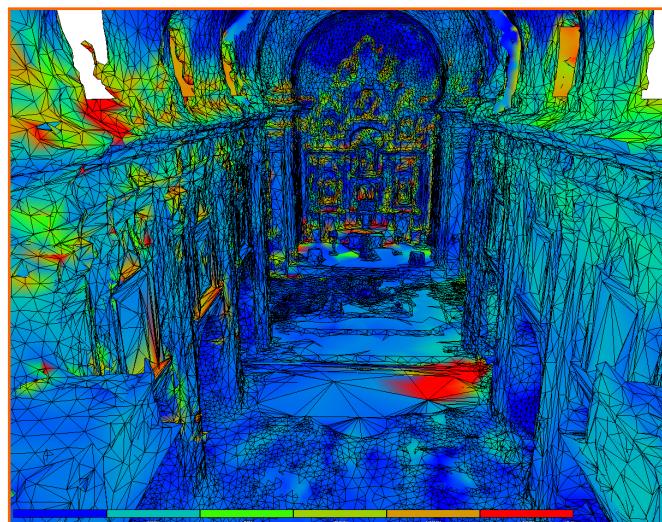


Fig. 5. Análisis lumínico del alzado de San Jacinto (Sevilla) obtenida a partir de fotogrametría, analizada en Relux.⁴

apertura de un vano que permite la entrada directa de la luz solar al interior. Como parte de este plan previamente diseñado, subrayó lumínicamente la parte central de la nave principal y el coro que se mueven en una horquilla de 50-60 lux, mientras que el presbiterio queda en una penumbra inferior a los 30 lux gran parte del año (fig. 5). Similares resultados a los previstos para el retablo mayor aparecen para el resto de capillas. Tampoco recibe especial iluminación cualquiera de las dos naves laterales, que permanecen en niveles similares a pesar del número dispar de ventanas de cada una de ellas. Parece claro que se pretendía gestionar lumínicamente esta parte a través de velas, aunque el carácter sombrío sería patente, dificultando el detalle de las piezas artísticas allí ubicadas. En segundo lugar, parece obvio que las diferencias estacionales estaban aminoradas, otorgando al espacio un carácter homogéneo durante todo el año. Por último, se demuestra que el edificio sería funcional durante las horas centrales del día, precisamente cuando las celebraciones litúrgicas y el rezo de las horas se llevarían a cabo de forma mayoritaria antes del Concilio de Trento, disminuyendo notablemente el gasto en cera de la comunidad. Además de esta situación en planta, merece observar también su impacto en altura. Aunque los resultados se mantienen, se han encontrado interesantes picos en espacios como el retablo mayor o los lienzos de la nave central (fig. 5).

En este entorno tan oscuro, especialmente en el presbiterio, puede pensarse que el papel de las velas sería muy importante. Recientes investigaciones han utilizado la ya conocida ley de distribución de la iluminación para el caso específico del patrimonio religioso, indicando que cada cirio aportaría 22,43 lux a 25 centímetros en vertical desde la

4. Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento en este levantamiento concreto a Lambros Doulos por su colaboración y asesoramiento.

llama, nivel que decaería hasta 1,4 lux a un metro (Moullou *et al.* 2015, 125 y 133). Una primera aproximación al número de cirios ubicados en los retablos durante los cultos en este momento, gracias a la información que se desprende de las representaciones de lienzos y grabados contemporáneos, apunta a que solían rondar los diez cirios. Por tanto, incluso superándose levemente estos números, el número de lux ni siquiera alcanzaría los de la nave, aunque el efecto fuera completamente diferente, ya que la luz aquí sí sería más dinámica y puntual.

De aquí pueden sacarse algunas conclusiones referentes al nivel de percepción del patrimonio aprovechando investigaciones en este sentido (Triyogo Atmodipoero y Pardede 2004). Las secciones más oscuras son precisamente aquellas que albergaban piezas artísticas como retablos de madera dorada con esculturas talladas y policromadas. En primer lugar, estos niveles generan un contexto excelente para su conservación. En segundo lugar, cabe señalar que los niveles de percepción de detalle serían mínimos, incluso con la incorporación de iluminación artificial (Moullou *et al.* 2012). Los retablos deberían entenderse como estructuras que apoyarían un efecto marcado por los reflejos del dorado, más que por la percepción de los detalles decorativos. Algo similar podría decirse de la pintura caracterizada por el claroscuro propio de estas fechas, que en este caso concreto se encuentra en una nave principal algo más iluminada. Este modelo de espacio cueviforme, que responde a otros anteriores levantados durante el siglo XVII, venía desapareciendo en diferentes territorios hispanos, tanto España como en América y Asia. Edificios como la Basílica de Guadalupe en México, o la Catedral de Cádiz estaban aumentando de forma muy significativa las horquillas de lux utilizadas (Luengo 2018), sin hacer una distinción tan clara entre las naves y los presbiterios, como aún se encuentra en San Jacinto.

4. Conclusiones

A partir de los casos mostrados, se pueden alcanzar algunas conclusiones. En primer lugar, resulta evidente que el modelo alcanzado a partir de fotogrametría es más preciso, incluyendo una información muy superior del edificio, siendo más recomendable. Los resultados lumínicos no difieren notablemente entre las dos opciones en cuestiones generales, pero sí lo hacen para los detalles, lo que impediría algunas investigaciones. En segundo lugar, se ha contrastado que existe un patrón lumínico español para el siglo XVIII, continuador del espacio cueviforme habitual en el siglo XVII, y ya apuntado por Bonet Correa. Este modelo va a ir modificándose a lo largo del siglo hacia soluciones más claras y homogéneas, probable consecuencia del academicismo (Luengo 2018). Todo esto demuestra que la utilización de estas nuevas tecnologías, basadas a su vez en la estrecha colaboración de ingenieros, arqueólogos y arquitectos, por citar solo algunos, sirve para enriquecer o poner en duda hipótesis tradicionales de disciplinas humanísticas como es aquí la historia del arte.

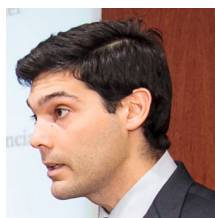
Por último, este análisis lumínico expuesto ofrece una contribución añadida, referente a la correcta exposición del patrimonio mueble e inmueble, tanto en su espacio original como en instituciones museísticas. Frente a las convenciones habituales en este sentido, los patrones analizados ofrecen escenarios muy diferentes, donde ciertas obras de pintura o escultura deberían permanecer en espacios más sombríos para ser debidamente contextualizados. Algo similar ocurre con la arquitectura, sumida hoy en diferentes iniciativas de «iluminación artística» que, aunque vienen a resolver problemas funcionales actuales, no tienen en cuenta el planteamiento original en este sentido del propio edificio, pudiendo afectar negativamente a su correcta comprensión patrimonial.

Referencias bibliográficas

- Almagro Gorbea, A. 2004. *Levantamiento arquitectónico*. Granada: Editorial Universidad de Granada.
- Almagro Gorbea, A. 1993. «La representación de la Arquitectura a través de la Fotogrametría. Posibilidades y Limitaciones». *Architectural Photogrammetry*, Colombo: ICOMOS: 56-61 y 145-149.
- Almodóvar Melendo, J. M.; Cabeza Láinez, J. María y García de Casasola Gómez, M. 2001. «La Quimera de la Luz: Evolución de las Cúpulas en el Barroco Iberoamericano». *Congreso Internacional del Barroco Iberoamericano*.
- Bentkowska-Kafel, A. 2015. «Debating Digital Art History». *DAH-Journal*, 1: 51-64.
- Bonet Correa, A. 1995. «El “hada electricidad” o el arte moderno de iluminar». Bonet Correa, A. (ed.). *Arte y luz*. Sevilla: Fundación sevillana de electricidad.
- Bonet Correa, A. 1978. *Andalucía barroca: arquitectura y urbanismo*. Barcelona: Polígrafa.
- Jabi, W. y Potamianos, I. 2007. «Geometry, light, and cosmology in the church of Hagia Sophia». *International Journal of Architectural Computa.* 5(2): 303-319.
- Lerma-García, J. L.; García, A.; Pérez, C. 2005. «3D Reconstruction and modelling of architectural domes». Dequal, Sergio (ed.). *CIPA 2005 XX International Symposium*. Torino: CIPA 2005: 902-905.
- Lowe, D. 2004. «Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints». *International Journal of Computer Vision* 60: 91-110.
- Luengo, J.; Martínez-Navarro, B.; Lorenzo, C. 2018. «La mayoría de edad de la fotogrametría y su uso en Venta Micena, Orce (Granada)». *IX Jornadas Jóvenes Investigadores en Arqueología*. Santander: Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria, IIIPC, 2018.
- Luengo, P. 2016. «Posibilidades de una historia digital de la arquitectura barroca: algunas herramientas y casos prácticos». *Revista de Historiografía*. Nº extraordinario 4: 205-219.

- Luengo, P. 2018. «Consideraciones iniciales sobre la gestión de la luz natural en la arquitectura del siglo XVIII». *XXII Congreso Nacional de Historia del Arte*. Burgos: Universidad de Burgos-CEHA, 2018, en prensa.
- Luhmann, T.; Robson, S.; Kyle, S. y Harley, I. 2006. *Close Range Photogrammetry Principles, techniques and applications*. Edimburgo: Whittles Publishing.
- Martín Talaverano, R. 2014. «Documentación gráfica de edificios históricos: principios, aplicaciones y perspectivas». *Arqueología de la Arquitectura*, 11.
- Moullou, D.; Madias, E.-N. D.; Doulos, L. T.; Bouroussis, C. A.; Topalis, F. V. 2012. «Lighting in Antiquity». *The Fifth Conference. Balkan Light 2012*. Belgrado: Serbian Lighting Society: 237-244.
- Moullou, D.; Doulos, L. T.; Topalis, F. V. 2015. «Artificial light sources in Roman, Byzantine, and post-Byzantine eras: an evaluation of their performance». *CHronos. Revue d'Histoire de l'Université de Balamand* 32: 120-135.
- Nogales Márquez, C. F. 2015. *El arquitecto Antonio Matías de Figueroa*. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Papadopoulos, K. (ed.) 2017. *The Oxford Handbook of Light in Archaeology*. Oxford: Oxford University Press.
- Remondino, F., El-Hakim, S. F. 2006. «Image-based 3D modelling: a review». *The Photogrammetric Record* 21 (115): 269-291.
- Rodríguez Ortega, N. 2017. «Art History and the Global Challenge: A Critical Perspective». *Art@S Bulletin*. 6/1, article 3.
- Triyogo Atmodipoero, R.; Pardede, L. 2004. «Research on minimum illumination as a function of visual performance». *Energy and Buildings* 36/7: 644-649.
- Westoby, M. J.; Brasington, J.; Glasser, N. F.; Hambrey, M. J. y Reynolds, J. M. 2012. «'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications». *Geomorphology*, 179: 300-314.
- Wilkinson, M. W.; Jones, R. R.; Woods, C. E.; Gilment, S. R.; McCaffrey, K. J. W.; Kokkalas, S. y Long, J. J. 2016. «A comparison of terrestrial laser scanning and structure-from-motion photogrammetry as methods for digital outcrop acquisition». *Geosphere*, 12: 1865-1880.
- Yan, L.; Tan, J.; Liu, H.; Xie, H. y Chen, C. 2017. «Automatic Registration of TLS-TLS and TLS-MLS Point Clouds Using a Genetic Algorithm». *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17: 1979.

CV

**Pedro Luengo**

Universidad de Sevilla

pedroluengo@us.es

Universidad de Sevilla. Facultad de Geografía e Historia
 Departamento de Historia del Arte
 C/ María de Padilla s/n.
 41004 Sevilla

Miembro del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Sevilla. Doctor en Historia del Arte por la misma institución, ha realizado estancias de investigación en distintos centros internacionales en San Agustín Museum (Manila) en 2009, en el Instituto de Investigaciones Estéticas (México) en 2010, en el European University Institute (Florencia) en 2011, en el War Studies Department del King's College London en 2015 y en la Universidad de Oxford en 2016. Cabe destacar, además, que es investigador del Centro de História de Além-Mar de la Universidad Nova de Lisboa, y miembro de grupos de investigación en Portugal y Brasil. Ha publicado diferentes artículos en revistas españolas e internacionales, entre las que cabe destacar «Itinerario, Araucaria, Revista de Indias, Imago Mundi o War in History». Más destacables son las publicaciones de monografías como *Intramuros: arquitectura en Manila, 1739-1762* (Madrid, Fundación Universitaria Española, 2012), *Manila, plaza fuerte. Ingenieros militares entre Europa, América y Asia* (Madrid, CSIC-Ministerio de Defensa, 2013) o la edición del libro *From Colonies to Countries in the North Caribbean. Military Engineers in the Development of Cities and Territories* (Newcastle, Cambridge Scholar Publishing, 2016).

CV

**Javier Luengo**

Universidad Rovira i Virgili
franciscojavierluengo@outlook.com

Institut Català de Paleoeecologia Humana i Evolució Social
Edificio W3, Campus Sescelades URV
Zona Educacional, 4, 43007 Tarragona, España

Investigador colaborador del Institut Català de Paleoeecologia Humana i Evolució Social, en la rama de documentació fotogramétrica aplicada a la arqueologia. Máster en Quaternary Archaeology and Human Evolution (Erasmus Mundus) por la Universitat Rovira i Virgili de Tarragona (España) y por el Muséum National d'Histoire Naturelle de París (Francia) con el trabajo «Application of photogrammetric technics for morphometric studies in palaeontological big mammal's fossils». Licenciado en Historia por la Universidad de Sevilla. Licenciado en Violín por el Conservatorio Superior de Música de Sevilla. Director del Proyecto Histórico-Arqueológico de El Cuervo de Sevilla desde 2016.

En el ámbito profesional destaca en sus trabajos como director del yacimiento arqueopaleontológico de Baza 1 (Granada), así como sus trabajos de documentación tridimensional en la sierra de Atapuerca (Burgos), incluyendo Gran Dolina, Galería y Sima del Elefante desde 2016 y Cueva Fantasma desde 2017. Recientemente ha estado vinculado a proyectos de recreación virtual y análisis computacional en periodos romano y moderno.

Es autor de diferentes artículos en revistas españolas, entre los que cabe destacar los referentes a la mejora de la técnica fotogramétrica y a las aplicaciones de las recreaciones virtuales. En la misma línea, destaca el capítulo referido a la documentación tridimensional en la obra *Orce: Homininos, hienas, mamuts y otras bestias* (Sevilla, Junta de Andalucía, 2016).