

Avances de la Tomografía Computarizada aplicada al estudio de escultura de madera policromada

Carmen Royo Fraguas

Resumen—La Tomografía Computarizada (TC) es una técnica de análisis por rayos X ampliamente utilizada en medicina. Su uso ha sido adaptado al campo patrimonial, demostrándose especialmente útil para el estudio y diagnóstico del interior de esculturas de madera policromada. Todavía existen limitaciones con los equipos y los resultados obtenidos en relación con las características tecnológicas de los objetos, pese a ello, los avances tecnológicos indican que será un análisis básico a futuro. Así mismo, existen propuestas novedosas para combinarla con otras técnicas no invasivas que permitirían relacionar los resultados de la caracterización química de materiales con la realidad tridimensional de los objetos.

Palabras Claves— Escultura, madera policromada, rayos X, Tomografía Computarizada (TC).

1. INTRODUCCIÓN

La radiografía y la tomografía computarizada (TC) son las dos técnicas radiológicas más utilizadas en el campo patrimonial ya que presentan la ventaja de ser no invasivas. En el caso de esculturas de madera policromada, la TC es especialmente útil, ya que no se produce la superposición de planos de la radiografía y permite el estudio del interior de los objetos tridimensionales.

2. ESCULTURA DE MADERA POLICROMADA

2.1. Materiales y técnicas de manufactura

Las tallas de madera habitualmente están realizadas a partir de bloques de distintos tamaños (embonos), aunque las de pequeño formato pueden presentar uno solo. Los escultores unían estas piezas a partir de un núcleo central, realizado con aquellas de mayor tamaño, al que iban acoplando otras de diferente envergadura según los requerimientos de la figura a realizar. Un recurso común para aligerar peso era el ahuecamiento de la parte posterior [1], a veces oculto con tablonos de madera o telas.

Las partes más detalladas, como cabeza y manos, habitualmente se desbastaban y tallaban junto al resto del bloque, para después ser cortadas y trabajadas por separado, volviéndose a unir al estar finalizadas. Si la escultura presenta ojos de vidrio, además se cortaría la mascarilla y se vaciaría la parte interior de la zona de las cuencas de los ojos, para insertarlos una vez pintados [1].

Las uniones de los embonos solían hacerse al hilo y reforzarse con tarugos de madera, pernos y clavos, aunque también es habitual el uso de telas encoladas como refuerzo en las zonas de unión entre bloques, técnica conocida como enlizado [1], [2]. La tela encolada también fue muy utilizada como soporte para ropajes, consiguiendo efectos naturalistas; en este caso, una vez seca, recibía los

mismos estratos para la policromía que la madera [2].

Una vez finalizados los procesos de desbaste, ensamblado y talla, se procedía a la rectificación de defectos, como la eliminación y relleno de nudos [1]. Después, se realizaba el proceso de pulido para, por último, ensamblar las piezas exentas, procediendo a dejar la obra secar al aire, tras lo que llevarían a cabo las correcciones finales.

Posteriormente, se da el proceso de policromía, cuyos principales estratos son imprimación, capas de preparación, estratos de color y barnices; incluyendo embolado y láminas metálicas, entre otros, si los trabajos son más elaborados, como los estofados en las vestimentas.

3. TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC)

3.1. Funcionamiento

El funcionamiento de la TC combina una parte física y una parte matemática e informática. El escáner TC contiene un tubo de rayos X que genera un haz de fotones que inciden sobre el objeto. Al atravesarlo sufren interacciones mediante fenómenos de absorción, en función de la energía del haz y de las propiedades del material, principalmente la densidad. Otro componente fundamental del equipo, los detectores, captan la radiación no absorbida y la transforman en señales eléctricas. La orientación del tubo y los detectores irá cambiando y se repetirá el proceso hasta dar la vuelta completa al objeto. Después se procesan los datos para obtener imágenes digitales de los cortes axiales que, con softwares informáticos, pueden manipularse para obtener los cortes sagital y coronal [3].

En la etapa de procesamiento informático, también puede reconstruirse el objeto mediante reproducciones 3D, entre cuyas variantes, para el estudio de esculturas de madera destacan la reconstrucción multiplanar (MPR) 3D, la reconstrucción de superficie (SR) 3D, la reconstrucción endoscópica 3D y la reconstrucción volumétrica 3D, que puede observarse en la Figura 1 [4].

3.2. Aplicaciones al estudio de escultura de madera policromada

La TC permite el estudio de objetos que puedan ser atravesados por rayos X, y específicamente la TC médica, cuya densidad sea similar a la del cuerpo humano, como es el caso de la madera [3]. Con ella, es posible visualizar el interior de las esculturas, obteniendo información detallada sobre la técnica de ejecución, el estado de conservación y la historia material.

Respecto a la técnica de ejecución, es posible observar la estructura interna (tamaño y disposición de los embones, presencia de ahuecamientos, discontinuidades, etc.), caracterizar los bloques de madera (procedencia del corte en el tronco a partir de los anillos de crecimiento o diferencias de densidad entre materiales), así como los sistemas de unión y ensamblaje (disposición y tamaño de tarugos, mascarilla, uso de clavos u otros elementos metálicos, etc.), entre otros (Figuras 1 y 2). Una de las ventajas que presenta esta técnica es la posibilidad de definir la ubicación de cualquiera de estos datos, de manera precisa, en el interior de la escultura [3].

La TC no permite realizar estudios detallados sobre el estrato policromo, aunque normalmente puede distinguirse entre policromía, preparación y soporte debido a las diferencias de densidad entre los materiales [4].

Respecto al estado de conservación, es posible comprobar la existencia de alteraciones y deterioros en el interior de la escultura como, por ejemplo, presencia de grietas y fisuras, desplazamientos de bloques o galerías generadas por insectos xilófagos.

3.3. Limitaciones y últimos avances tecnológicos

Como es habitual para la mayoría de las técnicas analíticas utilizadas en el estudio de patrimonio, su desarrollo surge en otras disciplinas y después se adapta su aplicación [3].

En este caso, la TC más utilizada es la de uso médico, siendo la TC Helicoidal Multicorte (TCM) la tecnología más avanzada [4]. Estos equipos suelen ubicarse en hospitales, con la ventaja de su fácil acceso y, al mismo tiempo, la desventaja de hacer necesario el traslado de los objetos, lo que puede suponer un problema para los que presentan mayor fragilidad. A este respecto, recientemente se ha realizado el estudio de numerosos objetos de la colección de un museo, por primera vez con un escáner TC móvil al interior de la institución, evitando los traslados y permitiendo un análisis a gran escala [5], aunque existen algunos antecedentes similares con escáneres portátiles en la Fundación Centro de Conservación y Restauración "La Venaria Reale" (CCR) en Italia [6].

Por otra parte, puesto que la TC médica está pensada para ser utilizada en personas, la cantidad de radiación que utiliza es la mínima posible, lo que limita la resolución de los resultados por imagen en el caso de las esculturas, donde no hay riesgo radiológico [3]. En este sentido, aunque es menos accesible, también existen aplicaciones para el estudio de patrimonio con TC industrial, que además de entregar imágenes con una mejor resolución, permite la entrada de objetos de mayor tamaño [7]. Algunos estudios comparan la calidad de las imágenes obtenidas mediante escáneres de ambas TC, demostrando que la reso-

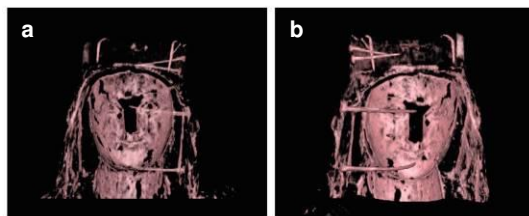


Fig. 1. Reconstrucción volumétrica 3D en la que se observa la ubicación de clavos de unión en el anverso (a) y reverso (b) de la cabeza de una escultura (Imágenes de Sarrió [4]).

lución de la TC industrial es superior; de hecho, en algunos casos, los resultados han permitido incluso realizar la datación dendrocronológica del soporte de madera, a partir de la medición del ancho de los anillos de crecimiento en las imágenes obtenidas, y su comparación con patrones preestablecidos [8]. Puesto que la TC industrial es poco accesible, algunos autores también han trabajado en el desarrollo de métodos para la identificación de especies de maderas sin toma de muestra con imágenes de baja resolución obtenidas por TC [9].

Otra gran limitación es el tamaño de la garganta de entrada, ya que imposibilita el acceso de objetos de gran formato [3], [10] o cuya morfología presenta un ancho máximo elevado, como es el caso, por ejemplo, de algunas bases o los brazos de las esculturas de Cristo crucificado. Por este motivo, en el marco del proyecto italiano neu_ART, se desarrolló el prototipo de un instrumento para objetos de gran formato y se instaló en el CCR "La Venaria Reale", permitiendo el análisis de objetos de hasta 2,5 m de diámetro y 2,7 m de alto [10], haciendo posible que además se estudiaran sin necesidad de traslado.

Por el contrario, cuando el tamaño del objeto es muy pequeño y se requiere de buena resolución espacial, se recurre al uso de microtomografía computarizada de alta resolución (micro-TC o μ TC), ya que permite una visualización del orden de micrones [6], si bien no es habitual que el tamaño de las esculturas sea tan reducido.

Respecto a los resultados en sí mismos, es importante destacar dos factores que influyen a la hora de interpretar los resultados de manera adecuada: la distancia entre los cortes axiales y las distorsiones en las imágenes producidas por artefactos metálicos. Teniendo en cuenta el pequeñísimo tamaño y anchura que pueden llegar a tener algunos elementos o indicadores de alteración, como tarugos o fisuras, es importante que la distancia entre las imágenes de los cortes axiales sea la mínima posible, evitando pérdidas de información y garantizando que las reproducciones 3D sean representativas [4]. Por otra parte, es habitual que haya elementos metálicos en el interior de las esculturas, cuya interacción con el haz de fotones de rayos X, hace que las señales no lleguen al detector de manera adecuada; esto genera en la imagen los denominados artefactos metálicos, con la consecuente pérdida de información (Figura 2.b). Ahicart [11] indica que pueden reducirse con el uso de TC de doble energía (TCDE) -equipos de última tecnología que permiten realizar la exploración con dos espectros de rayos X diferentes- y que la visualización de la zona circundante en las imágenes obtenidas puede mejorarse en el post procesamiento.

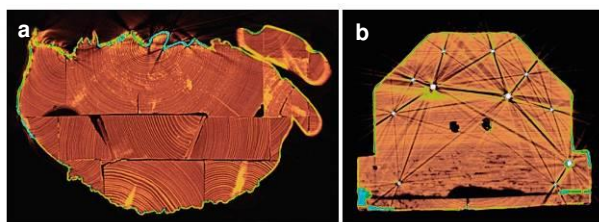


Fig. 2. Cortes axiales en los que se observan los bloques de madera, anillos de crecimiento y nudos (a), así como elementos metálicos y los artefactos que generan (b) (Imágenes de Sarrió [4]).

3.4. Combinación con otras técnicas de análisis

En las últimas décadas se han desarrollado investigaciones sobre el uso de TC en combinación con otras técnicas de análisis no invasivas, específicamente para la caracterización química e identificación de materiales.

Entre ellas, destacan las investigaciones realizadas por Vavřík et al. [12] sobre la integración de imágenes obtenidas por Fluorescencia de Rayos X (FRX) y reconstrucciones 3D generadas a partir de TC. Lo que proponen es cartografiar las imágenes XRF -que representan las proyecciones de los fotones en un plano- sobre la superficie del volumen 3D reconstruido tomográficamente, contribuyendo a la identificación de la distribución de los elementos, y de la relación entre composición y geometría del objeto. Aunque se afirma que el método todavía presenta algunos defectos, consideran que su implementación es relativamente factible.

Por otra parte y novedosamente respecto al estudio de policromías con TC, Longo et al. [13] han publicado recientemente los resultados del uso de TCM con dispersión Raman de superficie mejorada (SERS) para la investigación de maderas pintadas, en este caso, probetas con pigmentos orgánicos e inorgánicos antiguos. Si bien el método también requiere de mayor investigación por el momento, concluyen que es posible la identificación y caracterización físico-química de pigmentos sobre soportes de madera a partir de la combinación de los resultados del SERS y la densimetría de rayos X característica de cada uno.

4. CONCLUSIONES

El uso de TC para el estudio y diagnóstico de esculturas de madera policromada es altamente útil y permite obtener información del interior que no entregan otras técnicas analíticas no invasivas. Muestra de ello son las numerosas investigaciones que se han realizado en las últimas dos décadas con la pretensión de superar las limitaciones que presentan los equipos de uso médico.

Los avances tecnológicos apuntan a que la TC se convertirá en un análisis básico para el estudio de patrimonio, más aún si su accesibilidad mejora, como así lo indica el desarrollo de escáneres portátiles para su uso en el interior de las mismas instituciones que albergan los objetos.

La combinación de TC con otras técnicas de análisis no invasivo permite relacionar la caracterización química de los materiales y su realidad tridimensional, prometiendo ser de gran utilidad en la medida en que se perfeccionen los métodos en estudio.

REFERENCIAS

- [1] L. R. Simón, «Los procedimientos técnicos en la escultura en madera policromada granadina», *Cuad. arte la Univ. Granada*, vol. 40, pp. 457-479, 2009.
- [2] A. Carrasón, «Preparaciones, dorado y policromía de los retablos en madera», en *Los retablos: Técnicas, materiales y procedimientos*, 2006, pp. 2-13.
- [3] D. Juanes, «La tomografía axial computerizada. Estudio de escultura de madera», *La Cienc. y el Arte II. Ciencias Exp. y Conserv. del Patrim. Histórico*, pp. 32-34, 2010.
- [4] M. F. Sarrió, «Aplicación de la tomografía computerizada médica para el análisis y estudio en escultura policromada en madera», Tesis doctoral, Univ. Politècnica Val., pp. 44-325, 2016.
- [5] P. Charlier et al., «First in-situ use of a mobile CT-scan for museum artefacts: The quai Branly – Jacques Chirac museum experience», *Forensic Imaging*, vol. 20, pp. 200-365, 2020.
- [6] M. P. Morigi, F. Casali, M. Bettuzzi, R. Brancaccio, y V. D'Errico, «Application of X-ray Computed Tomography to Cultural Heritage diagnostics», *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 100, n.º 3, pp. 653-661, 2010.
- [7] Instituto del Patrimonio Cultural de España, *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en retablos y escultura policromada*, pp. 19-20, 2017.
- [8] S. Křivánková, A. Nasswetrová, y P. Šmíra, «Comparison of image quality between a medical and an industrial CT scanner for use in non-destructive testing of tree-ring widths in an oak (*Quercus robur*) historical sculpture of Madonna», *Wood Res.*, vol. 63, n.º 1, pp. 155-164, 2018.
- [9] K. Kobayashi, M. Akada, T. Torigoe, S. Imazu, y J. Sugiyama, «Automated recognition of wood used in traditional Japanese sculptures by texture analysis of their low-resolution computed tomography data», *J. Wood Sci.*, vol. 61, n.º 6, pp. 630-640, 2015.
- [10] A. Re et al., «X-ray tomography of large wooden artworks: The case study of "Doppio corpo" by Pietro Piffetti», *Herit. Sci.*, vol. 2, n.º 1, pp. 1-9, 2014.
- [11] D. Ahicart, «Análisis de esculturas de madera con Tomografía Computerizada. Uso de la Tomografía de Doble Energía: protocolos y aplicaciones», Tesis doctoral, Univ. CEU, pp. 39-56, 2017.
- [12] D. Vavřík, I. Kumpová, M. Vopálenký, y J. Lautenkranc, «Analysis of Baroque Sculpture Based on X-Ray Fluorescence Imaging and X-ray Computed Tomography Data Fusion», en *7th Conference on Industrial Computed Tomography (iCT)*, 2017, pp. 7-9.
- [13] S. Longo, F. Granata, S. Capuani, F. Neri, y E. Fazio, «Chemical-structural analysis of wooden painted specimens by clinical multi-slice computed tomography (MSCT) and surface-enhanced Raman scattering (SERS)», en *2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage. MetroArchaeo*, 2019, pp. 324-329.



Carmen Royo Fraguas es conservadora-restauradora con especialidad en escultura por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Aragón. Actualmente es alumna del Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del PH de la UPO. Desde 2015, se desarrolla profesionalmente en el Centro Nacional de Conservación y Restauración de Chile.