

ESTUDIOS, ENSAYOS Y RESULTADOS EN LA APLICACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA AXIAL DE MULTICORTE AL ANÁLISIS DE ESCULTURAS DE ALTA PERMEABILIDAD

Vicente Guerola Blay e Ignasi Gironés Sarrió

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia
Taller de análisis y actuación en pintura de caballete y retablos

AUTOR DE CONTACTO: Ignasi Gironés Sarrió, igirones@irp.upv.es

RESUMEN: *La utilización de técnicas radiográficas aplicadas al estudio de obras de arte ha posibilitado el descubrimiento de información, datos y obtención de imágenes inéditas y difícilmente accesibles hasta el momento. La evolución de dichas técnicas, a su vez, ha incrementado los niveles de exactitud y precisión de los conocimientos que hasta el momento se podían obtener a través de instrumentos básicos de exploración. La Tomografía Computerizada de Multicorte (TCM) se puede entender como la última generación de estos avances en técnicas radiográficas, las cuales, al ser aplicadas al estudio de obras de arte han abierto un abanico de posibilidades y resultados, incrementando las técnicas de exploración a partir de la visión interna de los objetos. Este artículo muestra las características de dicha técnica, los mecanismos y los resultados que se pueden obtener aplicándola al estudio de obras de arte, centrándose en siete supuestos prácticos de aplicación.*

PALABRAS CLAVE: tomografía axial computerizada, TAC, tomografía de multicorte, TCM, rayos x, tomografía helicoidal, gantry, vóxel, escanograma

INTRODUCCIÓN

La progresiva adaptación de sistemas de análisis médicos aplicados al estudio de las obras de arte ha sido siempre una constante. La tecnología médica ha servido mayoritariamente como base en el avance de las ciencias y disciplinas de inspección en materia de patrimonio histórico y artístico. Hoy por hoy, no resulta extraño, e incluso puede llegar a ser imprescindible, someter a las obras de arte que van a ser intervenidas a un estudio radiográfico, como fase preliminar de experimentación ante un estudio técnico y exhaustivo de la pieza.

La tomografía computerizada de multicorte es otro ejemplo claro de la adaptación de un instrumental de análisis médico como técnica de inspección y diagnóstico, que permite visualizar imágenes seccionadas de objetos. La tomografía permite el multireconocimiento de la estructura interna de un cuerpo en base a la diferencia de su propia consistencia matérica. Este proceso se realiza por medio de rayos X que atraviesan el objeto desde diferentes ángulos.

Esta técnica presenta una particularidad respecto a la radiografía convencional que radica en el tipo de imagen obtenida. Mientras en una radiografía convencional obtenemos una imagen transparente de todo el volumen de un objeto, en la que se observan superpuestos todos los planos que atraviesa el haz de rayos X, en una imagen tomográfica obtenemos una imagen transparente de una determinada sección del interior del objeto.

Las imágenes obtenidas a través de un tomógrafo son una especie de cortes milimétricos. Cada corte tomográfico es como una loncha o rebanada más o menos delgada según el grado de precisión necesario. Dichos cortes pueden ser observados de manera estática o dinámica.

Además, la nueva tecnología de multicorte nos permite orientar el ángulo del corte en función de la obtención de la máxima información, con el fin de estudiar en detalle cualquier particularidad interna de los objetos, en este caso, de valor histórico y artístico, e incluso la realización de reconstrucciones tridimensionales de partes internas aisladas.

Por lo tanto, con la TCM podemos obtener visiones internas, en la que podremos apreciar este interior con mayor definición y resolución, con lo cual nos encontramos con un aporte de información inédita hasta ese momento e inaccesibles con otros métodos convencionales.

OBJETO

Esta investigación tiene como objetivo la exploración de esculturas a través de un Tomógrafo de Multicorte, para obtener imágenes de su interior y así, poder reconocer y confirmar parámetros y datos inéditos hasta el momento. Con estos datos o resultados conseguidos se pretende obtener la información necesaria para llegar a demostrar las hipótesis que sobre distintos aspectos se tiene de cada una de las esculturas analizadas.

La inspección de una escultura con el tomógrafo de multicorte nos puede permitir visualizar imágenes del interior de la pieza que con ninguna otra técnica se podrían apreciar. Los resultados hipotéticos que esta investigación persigue, antes de realizar las exploraciones, son la visualización y la obtención de imágenes procesables de objetos, estructuras y compuestos que se hallen ubicados en el interior de obras de arte, que permitan llegar a la confirmación y ratificación de hipótesis sobre diferentes ámbitos de las obras de arte.

Los resultados que se obtienen con el tomógrafo se pueden distinguir en dos niveles diferentes. Por una parte, esta exploración debe permitir

la visión de unos elementos internos, unos resultados objetivos, obtenidos en función de la técnica, los materiales, su autoría o su cronología. El conocimiento a priori de las técnicas utilizadas por los escultores para la realización de dichas imágenes y el reconocimiento técnico que un restaurador tiene sobre los materiales que las constituyen, permite tener una relación de elementos que supuestamente se encuentran en el interior de las piezas y que presuntamente se deberían visualizar a través de estos análisis tomográficos, los cuales se pueden clasificar bajo esta relación de resultados:

- Reconocimiento de los materiales que componen las obras, o sea, la observación del material constitutivo de la escultura sometida: madera, metal, alabastos, cristal,.. la composición de las pastas, en definitiva la visión interna de la morfología de los materiales.
- Localización de las distintas piezas que forman el interior: tablonas, clavos, ensambles, colas, resinas, etc.
- Visualización de las patologías de los materiales que constituyen las obras: grietas, oxidaciones, exudaciones de resina, etc.
- Descubrimiento de objetos o circunstancias inéditas e inesperadas que surjan dentro de las piezas: almas, intervenciones posteriores, autorías, pergaminos, etc.

Por otra parte, el segundo nivel de resultados sería aquel en el que dichos resultados son interpretados para llegar a la confirmación y ratificación de hipótesis sobre diferentes ámbitos de las obras de arte. Dichos elementos han aportado una información que ha de ser procesada para poder llegar a las conclusiones basadas en tres aspectos diferentes:

1. Técnica de las obras: técnica de ejecución y materiales
2. Hechos históricos: autoría de la obra, época de realización, información sobre modificaciones y restauraciones realizadas a lo largo de la existencia de dicha obra, autenticidad de las obras, etc.
3. Estado de conservación, que determine un diagnóstico cierto y por lo tanto una propuesta de intervención eficaz.

METODOLOGÍA

Selección de obras

Para este estudio se han seleccionado piezas escultóricas realizadas en materiales de diferente naturaleza y en técnicas distintas, para poder obtener respuestas divergentes y así contrastar los resultados obtenidos.

Las esculturas analizadas debían reunir unas características concretas:

- Medidas y volumen apropiado: Los actuales equipamientos están pensados inherentemente para inspecciones del cuerpo humano, por lo tanto las piezas que se pueden analizar han de

disponer de las medidas y volumen apropiado para poder ser introducidas en el tomógrafo.

- Posibilidad de desplazamiento y manipulación: Lamentablemente esta técnica todavía no se encuentra muy arraigada y aún menos difundida como técnica de inspección en obras de arte. Posiblemente por tratarse de un equipamiento de alta tecnología médica sólo lo encontramos en centros especializados y hospitales. Por consiguiente, las obras siempre han de ser trasladadas desde su depósito hasta el lugar donde se encuentre el equipamiento preciso. Esto supone un *handicap* más a la hora de seleccionar la imagen. No solo se debe obtener el correspondiente permiso del propietario u organización que gestiona obras de arte, sino que han de ser obras susceptibles a ser desplazadas con lo que esto puede reportar a su estado de conservación.
- Necesidad e indicios para la realización del ensayo: Como restauradores de obras de arte entendemos que toda manipulación o intervención puede ser susceptible de alteración, por lo tanto la realización de dichos ensayos ha de estar previamente justificada por la necesidad o el interés por conocer datos de su interior, así como indicios de poder encontrar información sustancial.

De esta manera se realizó una selección de esculturas que reunieran dichas características para proceder a su exploración, analizar sus resultados y llegar a unas conclusiones satisfactorias según los objetivos propuestos. Las siete esculturas podían ser introducidas en su totalidad en el tomógrafo. El estado de conservación de las obras y las medidas tomadas para su traslado garantizaban una segura intervención y manipulación. Así, entendíamos que todas las piezas poseían un cúmulo de hipótesis e indicios sobre algunos de los aspectos anteriormente mencionados, esto es: información técnica, información histórica e información sobre el estado de conservación, que requerían de este análisis para su ratificación, demostración o constatación.

Las esculturas seleccionadas, además de ser de materiales, épocas, o estilos distintos, contenían todas ellas la particularidad de reunir presuntamente mucha información en el interior. En cada una de ellas había indicios que hacía suponer que tras su exploración se constatarían, localizarían y reconocerían aspectos de las obras hasta el momento desconocidos.

La relación de obras, sus características y los indicios que motivaban su exploración quedan resumidos en la tabla 1.

Los componentes y parámetros de un Tomógrafo

Los aparatos de TCM están constituidos básicamente por dos secciones principales de las que destacaremos brevemente las partes más importantes para entender mejor su funcionamiento.

Por un lado nos encontramos con elemento principal de un Tomógrafo: Gantry. Se trata de la maquinaria principal de la exploración

OBRA	ÉPOCA	MATERIALES	MOTIVO DEL ESTUDIO
Ntra. Sra. de Aguas Vivas	1736	yeso policromado	Constatación de la existencia de restos de la primitiva imagen en el interior
El Cristo de la Peña	s. XVIII	madera policromada	Localización y visualización de una supuesta cavidad interna
El Cristo del descendimiento de los Garrigues	s. XVII	madera policromada	Reconocimiento de las intervenciones realizadas en los hombros
El Cristo de la Pobra Llarga	s. XV	madera policromada	Verificación de la época de la obra
San Antonio de Padua	s. XVIII	madera policromada	Reconocimiento del sistema de constructivo de la figura
La Dolorosa	s. XVIII	madera policromada	Identificación del sistema de acoplamiento y ensambles
Buen Pastor	s. XVI	madera policromada	Determinación de elementos lígneos que componen la escultura

Tabla 1

y consiste en una carcasa de 1,80 m. de alto, 2 m. de ancho y 1 m. de profundidad, la cual presenta una abertura circular por donde se hacen pasar los objetos y personas que van a ser analizados. El aparato está dotado de un tubo de rayos X y el sistema de detección que toma los datos, así como de todos los elementos y mecanismos necesarios para el desplazamiento de los pacientes y objetos, o sea la mesa, se puede elevar, descender y deslizar hacia fuera o hacia adentro, introduciéndose o saliendo por la boca del gantry.

Debido a la peligrosidad de la utilización de los rayos X, todos estos elementos se encuentran aislados en un espacio protegido, en el cual y en el momento de la exploración, sólo permanece el paciente o el objeto que se somete al haz de rayos.

Por otro lado, lo que podemos entender como segunda parte de un tomógrafo serían los elementos de control, recepción y almacenamiento de la información. Todos estos elementos se encuentran en un espacio contiguo al de donde se encuentra el Gantry, visualizando todo el proceso a través de un cristal. Todas las exploraciones son controladas desde una consola de mando desde la que se instrumentalizan los movimientos de los objetos analizados y se programa el ensayo, seleccionando básicamente: partes a explorar, grosores de corte, y toda una serie de parámetros programables para cada estudio. intervalo, campo de visión, Kv y mA. Una vez dicha consola lanza la orden de emitir la radiación al Gantry, los detectores obtienen la información que mandan a una unidad central de procesamiento donde se consiguen los datos resultantes.

La imagen se obtiene a través de complicados cálculos logarítmicos, en los que se tiene en cuenta la radiación inicial y los datos de radiación obtenidos por los detectores. Estos cálculos nos darán el coeficiente de atenuación de la radiación en cada punto, y posteriormente serán representados con una intensidad concreta en cada punto de la pantalla. Los resultados de cada exploración son una matriz de puntos que serán los que, a través de procesadores se reconstruirán en imágenes y nos permitirán visualizar los elementos internos.

A partir de aquí es cuando comienza la labor de análisis, reconocimiento e interpretación de los resultados según se ha comentado anteriormente. Los datos en bruto obtenidos por la exploración han de ser sometidos a un largo proceso de estudio y contraste, y deben ser reconstruidos hasta llegar a las visualizaciones que se persiguen. Los

continuos avances en materia informática posibilitan cada vez reconstrucciones y procesamientos de mayor detalle virtual, así como de una consecuente optimización de gráficos.

EJEMPLOS DE TOMAS DE DATOS Y EXPERIMENTACIÓN PRÁCTICA

1. Ntra. Sra. de Aguas Vivas

Se trata de una escultura documentada en 1736 y realizada por el maestro escultor y retablista Andreu Robres (1680-1763), (Guerola, 1996) la escultura se encarga como sustitución de otra imagen perdida en un incendio. La primitiva imagen era de piedra blanca según testimonios documentales de archivo y había sido cedida a la parroquia de la Asunción de Carcaixent con motivo de unas rogativas, procedente del monasterio agustino de Aguas Vivas donde se veneraba como imagen titular. La nueva imagen debía contener los restos arruinados de la antigua, restos que fueron recuperados entre los del retablo donde se encontraba depositada. Todos aquellos acontecimientos originaron y fueron motivo del levantamiento de un acta notarial, donde se recogieron todos los pormenores y testificaciones del incendio.

La exploración con el TCM tuvo como principal objetivo la documentación gráfica de aquellos restos incorporados en la nueva escultura, así como la verificación de las indicaciones técnicas que aportaba la documentación archivística. Efectivamente dos elementos de la primitiva escultura de piedra permanecen casi intactos en el interior de la argamasa, se trata de las cabezas de la Virgen y el Niño. Efectivamente, para poder llevar a cabo la incorporación de los fragmentos se elige un material de modelado como el "algeps", una especie de yeso de tradición valenciana. En el momento de la realización de la escultura este yeso es mezclado con la cal procedente de las piedrecitas trituradas y los polvos raídos procedentes de la antigua imagen.

La visualización del interior de la escultura ha permitido distinguir muchos otros condicionantes técnicos. Así, la imagen se erige sobre un soporte de madera en el cual se sitúa una estructura autoportante de madera con crucetas en diferentes posiciones para favorecer el atrapado del material en el momento de su realización, incluso con la realización de un ensamblado especial en forma de percha a la altura de los hombros donde reside el mayor impacto de tracción mecánica (Guerola, 2003). De forma minuciosa se puede incluso reconstruir

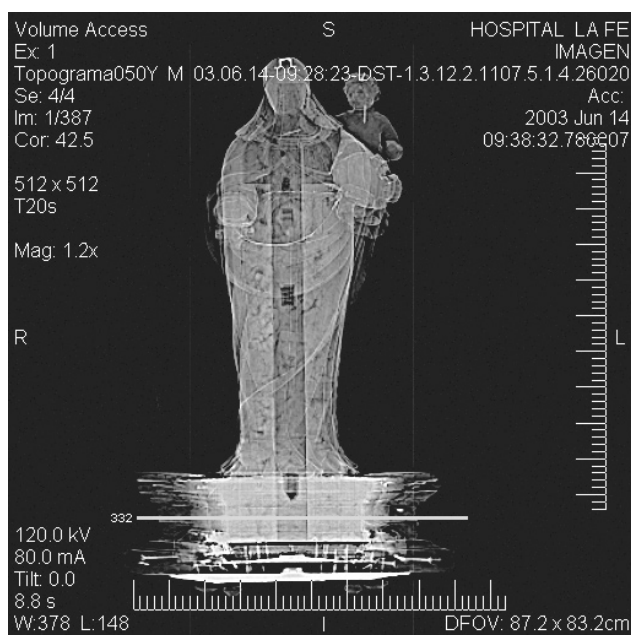


Figura 1. Ntra. Sra. de Aguas Vivas. Topografía

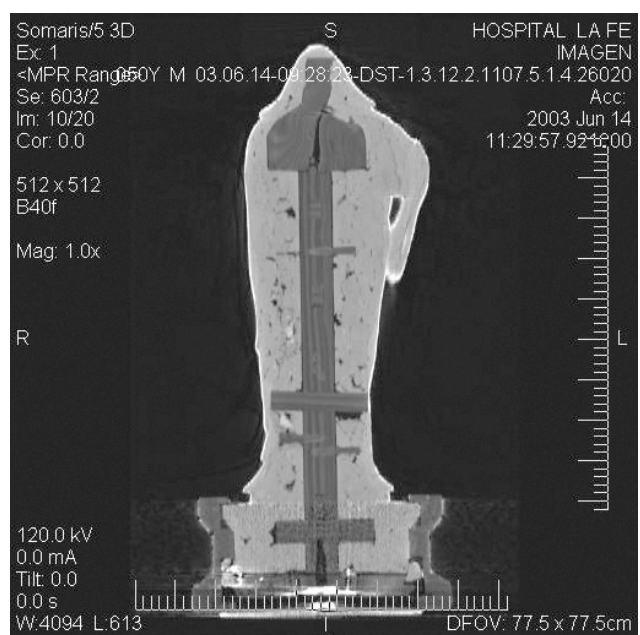


Figura 2. Ntra. Sra. de Aguas Vivas. Sección sagital del interior de la escultura

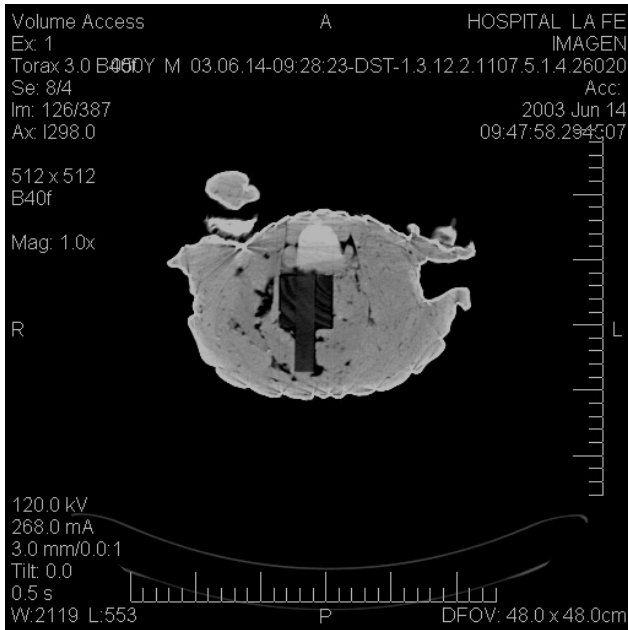


Figura 3. Ntra. Sra. de Aguas Vivas. Sección axial del interior de la escultura en la que se reconoce la cabeza de la primitiva imagen

cómo fue modelada la imagen con espacios vacíos generalmente en las zonas inferiores de las crucetas.

2.- El Cristo de la “Penya”

La imagen se conserva en la ermita de San Roque de Guadassuar, tratándose de una de las imágenes de mayor devoción y arraigo popular en la ciudad. La escultura fue objeto de un atentado en los acontecimientos ocasionados alrededor de la Guerra Civil, cuando se lanzó sobre la escultura un cóctel molotov que, si bien no llegó a prender, si derramó sobre la policromía su contenido originando sobre la superficie una amplia zona de patologías con manchas y provocando la descohesión de estratos pictóricos.

Los principales daños en la escultura se ponían de manifiesto en el ensamblaje de los brazos, principalmente el derecho, con una considerable fractura y desajuste de los elementos. Otras fracturas en forma de largas grietas aparecían alrededor del abdomen que parecían corresponderse con el movimiento del ensamblaje de los distintos tabloneros que conformarían la amplitud del torso de la figura escultórica.

La observación con el TCM ha supuesto una información fundamental para el conocimiento exhaustivo de la obra (Gironés y Guerola, 2006). Principalmente por haber reconocido en la escultura un problema originado en el mismo momento de creación de la obra. Así, el desconocido escultor tuvo que enfrentarse, una vez adelantado el proceso de tallado, con una grieta libre de la madera que rompió prácticamente en dos partes la zona derecha del abdomen. La observación de cortes axiales mostraba unas espigas que atravesaban desde diferentes ángulos ambas partes en un intento de reparación forzosa de la estructura. Una cuestión de mala fortuna en la elección de la madera en el momento de tallado provocó este daño que existe en la obra desde su misma génesis y que, aún hoy, después del paso del tiempo continúa manifestándose sobre la escultura.

Otra información fundamental era el sonido que se apreció en el interior de la imagen en los movimientos de manipulación para la documentación fotográfica previa a su intervención de restauración. La parte del tórax de la escultura se encontraba vacía. Esta técnica de practicar una cavidad en el centro de mayor envergadura se conoce como la realización del “alma”. En realidad este método trata de corregir los problemas que se venían observando desde antiguo para contrarrestar o al menos minimizar el movimiento libre de la madera desde el numen. En al-

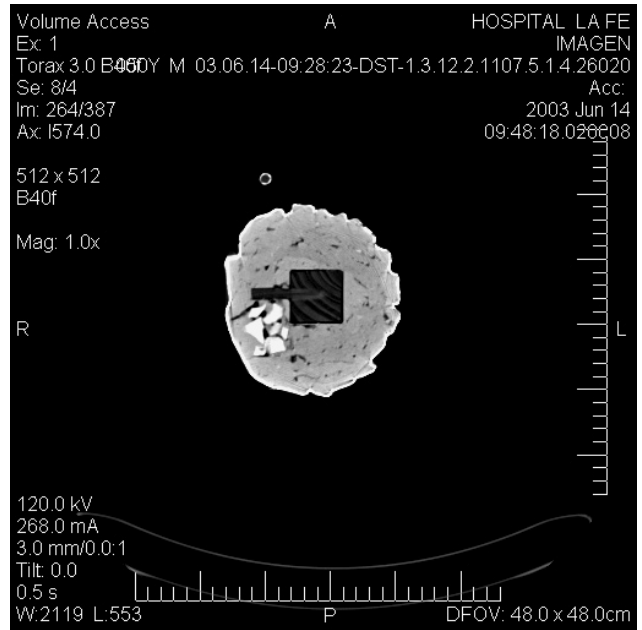


Figura 4. Ntra. Sra. de Aguas Vivas. Sección axial del interior de la escultura en la que aparecen fragmentos de la primitiva imagen

gunas ocasiones los maestros escultores aprovechaban esta capacidad para incluir en este espacio algún elemento de notificación de la obra, registrado sobre un pergamino o tablilla los acontecimientos y motivos del encargo, comitente y autoría de la obra. La observación interior de la escultura con reconstrucciones tridimensionales ofrecidas por el TCM nos informó de la existencia interna de pequeñas virutas de madera, las cuales ocasionaban el sonido en el momento de mover la escultura.

3. El Cristo del descendimiento de los Garrigues

La imagen del Cristo pertenece a un grupo escultórico, conjuntamente con las imágenes de la Virgen María, San Juan evangelista y María Magdalena, estas últimas de vestir. Las imágenes fueron realizadas para participar en los desfiles procesionales de la Semana Santa de Carcaixent. Según noticias documentales se realizaron en 1606 para la Cofradía del Santísimo Sacramento llamada de “Minerva”, que ya en época de decadencia, alrededor de 1764, es reunificada bajo el patrocinio del linaje de los Garrigues que se encargarían del mantenimiento del culto y custodia en casa del clavario elegido anualmente.

En la escultura del Cristo se observaban ciertas irregularidades a nivel anatómico que hacían sospechar en alguna intervención intrusista que hubiera modificado su configuración original. Ciertamente, la imagen del Cristo descendido de la cruz se sitúa sobre la de la Virgen de forma exánime, si bien denota una falta de relación compositiva entre ambas esculturas. El Cristo presenta un mechón o espiga a la altura posterior de la pelvis que remite a que en algún momento la escultura se encontraba suspendida de este elemento. En cualquier caso, el principal punto de atención se situaba sobre los brazos excesivamente rígidos y mal articulados en la zona del deltoides. Además, tanto en esta zona de unión de los brazos con el tronco, como en la zona del abdomen, se apreciaban unas considerables grietas con los consecuentes desprendimientos de película de policromía.

La visión interna de la escultura con sistemas de radiología digital ha permitido reconstruir y valorar las intervenciones totalmente agresivas a las que fue sometida la obra para un incorrecto acondicionamiento. La unión de los brazos al tronco se encuentra totalmente colapsada de elementos de hierro, principalmente tornillos, sobre una base de madera en forma de cuña que se encarga de adaptar los rígidos brazos a la estructura del cuerpo. Todos los elementos internos se encuentran oxidados dado que el grupo escultórico fue alcanzado por la inundación del río Júcar en 1982.

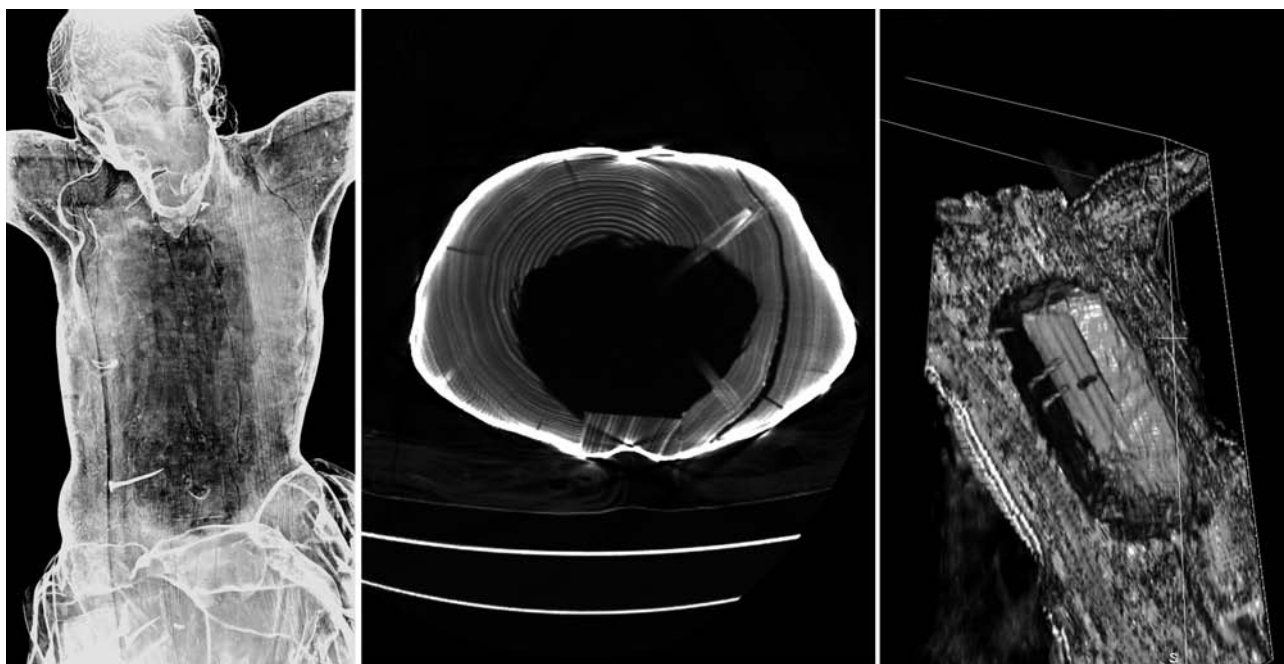


Figura 5. *El Cristo de la "Peña"*: Radiografía digital del torso de la escultura, sección axial a la altura de la cavidad interna del *alma* y reconstrucción tridimensional de un corte sagital de la figura



Figura 6. *El Cristo del descendimiento de los Garrigues*. Detalle de la intervención en los hombros a través de la radiografía digital

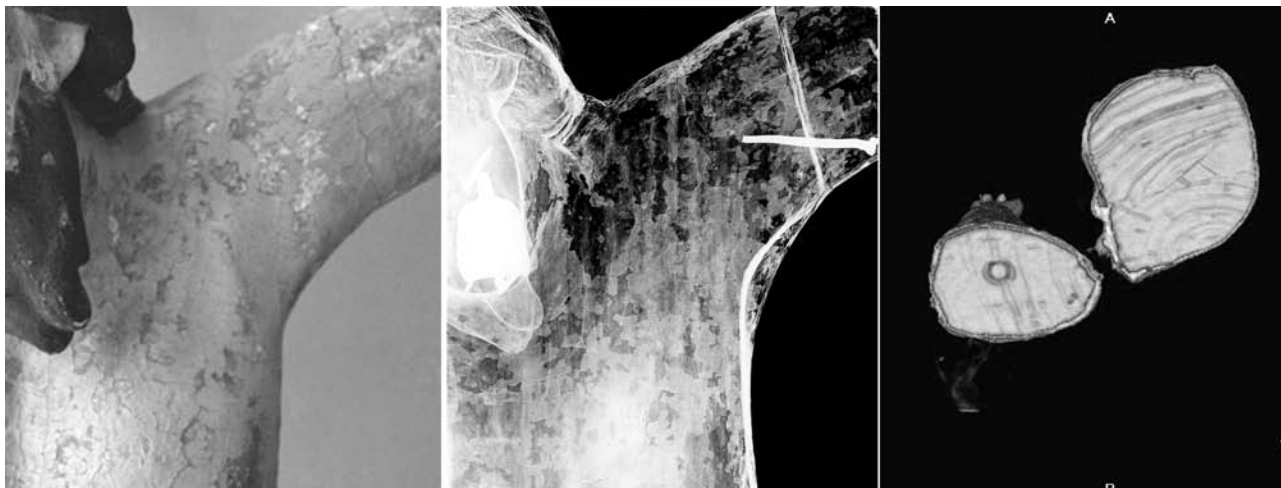


Figura 7. *El Cristo de la Pobra Llarga*: Secuencias de la unión del brazo al cuerpo en luz visible, radiografía digital y en un corte tomográfico axial

El análisis con TCM ha permitido reconocer que en origen la imagen del Cristo era una escultura de un crucificado que con posterioridad fue adaptada a una composición de yacente. Las zonas que sufrieron una mayor agresión se encuentran actualmente debilitadas comprometiendo seriamente el nivel de estabilidad y resistencia de la obra.

4. El Cristo de la Pobra Llarga

La escultura se encontraba situada en la capilla del cementerio municipal de la Pobra Llarga, tratándose de un ejemplar que había permanecido oculto a los ojos de especialistas y encontrarse, por tanto, completamente inédito. Probablemente este injusto olvido ha derivado en el estado de abandono en el que se encontraba la capilla, conjuntamente con unas antiguas intervenciones intrusistas sobre la obra que la convertían en un objeto completamente ajeno a su estética original.

Una primera inspección organoléptica señaló la posible adscripción de la escultura al período gótico y, por tanto, un destacado interés dentro del panorama de la escultura medieval valenciana. Así, una de las herramientas fundamentales para la peritación y expertización pasaba por su estudio a través de los sistemas de radiología digital y TCM. Los primeros ensayos notificaron unos sistemas de construcción y tallado muy arcaicos que difícilmente serían del conocimiento de un escultor que hubiera tratado de hacer una réplica historicista. El sentido arcaico del proceso del tallado comenzaba en la elección de un solo tronco para la realización de la extensión de la escultura de pies a cabeza, con la interferencia de una mascarilla para el tallado del rostro. El ensamblaje de los brazos está realizado con un sistema tradicional de machihembrado con la incorporación de una estructura posterior a modo de "aleta" que ocuparía la zona del homóplato en un cuerpo humano perfectamente constituido. Este sistema incorpora unos grandes clavos de hierro trabajados en la forja que impiden la desarticulación de las extremidades. El sistema de sujeción de la imagen al montante de la cruz se realiza a la altura de las vertebrales dorsales con un sistema de engarce documentado en otras obras del período gótico, como el "Cristo del Salvador" de la ciudad de Valencia del siglo XIII.

A nivel conservativo todos los ensamblajes se han desestabilizado producto del paso del tiempo, si bien el peor daño es el movimiento de la madera especialmente en la zona de mayor envergadura situada alrededor del tórax, abdomen y "perizonium". Estos movimientos de difícil corrección deberán ser contrarrestados en un futuro con el control medioambiental de la obra.

5. San Antonio de Padua

La obra se conserva en una hornacina de la Real Basílica de los Desamparados de Valencia. Estilísticamente parece responder al período neoclasicista, con claras influencias de la estatuaria propugna-

da por José Esteve Bonet, el más importante imaginero de finales del XVIII y principios del XIX en Valencia.

La obra de formato pequeño, presenta una configuración en bloques de tallado que se ha puesto de manifiesto explícitamente en la visión de los cortes axiales facilitados por el TCM. La parte de mayor complejidad reside en la zona delimitada entre los pies y la totalidad del hábito del santo franciscano. Este bloque, el más complejo de la escultura, está configurado por la unión de varios listones encolados alrededor de un eje central vacío para conseguir contrarrestar los movimientos libres de dilatación y contracción de la madera. La elección del grosor de las tablas, así como su ubicación en la armadura, vienen definidos por la composición y gestualidad de la obra presentando una disposición de marcada índole serena y equilibrada. San Antonio sostiene con la mano derecha unas azucenas mientras que con la izquierda sujeta un libro sobre el que aparece sentado el niño Jesús.

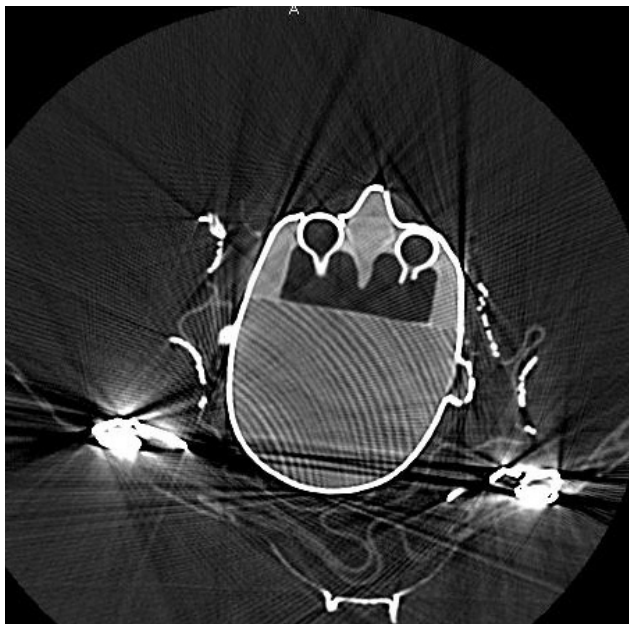
El segundo elemento de importancia respecto al tamaño es la peana sobre la que se alza la escultura. Básicamente está formada por cuatro tablonos armados en forma de perímetro de caja con una tapa superpuesta. La peana está configurada por molduras y boceles dispuestos en forma de cornisa corrida y superpuesta. Hay una meseta sobre la que se articula un sistema de machihembrado para la entrada de la figura del santo. Las manos y la cabeza están talladas por separado y se incluyen y sujetan por medio de prolongaciones de los miembros en forma de mechones.

Finalmente la escultura del Niño Jesús está concebida de forma totalmente exánime, tanto compositiva, como técnicamente y está anclada sobre el libro que sostiene San Antonio con un sistema de espiga tradicional.

6. La Dolorosa

La imagen procede del coleccionismo particular debiéndose clasificar cronológicamente alrededor de la mitad del siglo XIX. Se trata de una imagen de vestir en un estado de conservación verdaderamente lamentable provocado, posiblemente, más por un acto vandálico que por la acción del envejecimiento constitutivo de sus materiales.

El análisis con TCM ha puesto de manifiesto la delicadeza en el proceso de tallado del rostro prácticamente la única zona, junto con las manos, que alcanza la visión del espectador. Más aún, la inclusión de los ojos de cristal está adaptada con una precisión, casi, como de mecanismos de relojería en una perfecta articulación de espacios y cerramiento de estructuras. El TCM ha revelado que la imagen fue maltratada provocando algún tipo de golpe muy fuerte sobre la parte derecha, debió de ser en este momento cuando la imagen queda mutilada de un brazo, siendo sustituido posteriormente por otro de plástico y procedente de una muñeca. En aquel momento la imagen

Figura 9. *La Dolorosa*. Corte axial de la cabeza a la altura de los ojos

debió sufrir una agresión muy fuerte en el rostro, con las consiguientes pérdidas de película de policromía, así como la rotura de la base de la peana justo en el punto de anclaje del bastidor de la escultura. Otra de las ventajas ha sido poder documentar con facilidad la extensión total de escultura sin necesidad de desarticular todos los vestidos que en muchos casos se encuentran cosidos in situ.

7. Buen Pastor

Las imágenes de Cristo como “Buen Pastor” surgen a partir de la idea del “moscóforo” de la antigüedad clásica, concretamente del modelo del siglo VI a.C. El ejemplar objeto de este estudio se conserva en el Museo Mariano de la Real Basílica de los Desamparados de Valencia debiéndose clasificar estilísticamente en el periodo renacentista y cronológicamente en la segunda mitad del siglo XVI.

La escultura se encuentra configurada a partir de un gran bloque de madera desbastado desde el eje central de crecimiento, estructura sobre la cual se han superpuesto y encolado diferentes tablonos para la configuración de elementos en voladizo coincidentes con zonas de ropaje, brazos, etc.

El TCM ha permitido documentar con una gran precisión el origen de diferentes grietas distribuidas en prácticamente toda la extensión de la escultura. Estos daños tienen su origen en los movimientos libres de la madera desde la parte central, aumentando gradualmente conforme se aproximan a la superficie tallada. Como ya se ha dicho, este sistema de imaginaria “compacta” vino a ser sustituida en el periodo Barroco por imágenes “cascarón” o con “alma”, principalmente como mejora de la técnica de tallado y como avance en el terreno de la experimentación. Otra importante aportación del TCM ha consistido en el reconocimiento de estructuras ajenas a la obra original, principalmente formada por antiguas restauraciones con la aparición de injertos de madera en diferentes direcciones de corte respecto a la dirección de la escultura original, reparaciones intrusistas, con rellenos de pasta y yeso, así como restituciones e inclusión de objetos metálicos de grado

CONCLUSIONES

Sin lugar a dudas los resultados obtenidos y demostrados anteriormente confirman la excepcionalidad del uso de esta tecnología para el estudio de obras de arte. El uso de la tomografía de multicorte abre

Figura 10. *La Dolorosa*. Radiografía digital de la cabeza

un amplio abanico de nuevas posibilidades que, unido al uso de otras técnicas, aportarán mucha más luz sobre la información que se puede obtener de las obras de arte, tanto para su conocimiento como para su buena conservación.

Como hemos visto esta técnica no sustituye, ni siquiera lo pretende, el uso de la radiografía convencional, sino que aporta información desde otro punto de vista. Incluso en algunos casos resulta complementaria y necesaria para entender algunos objetos que aparecen en los cortes tomográficos y que gracias a la visión previa radiográfica, son más fáciles de traducir.

También llegamos a la conclusión de que el nivel de extracción de información estará directamente relacionado con la susceptibilidad permeabilidad de los materiales constituyentes de la obra. En cualquier caso siempre serán mayores las ventajas que los inconvenientes, si tenemos en cuenta que la visión del interior del objeto, dividido en múltiples planos, abre otro camino en la inspección interna de las obras de arte, con una técnica de análisis no destructiva y de una excelente resolución. Además, con la tomografía se pueden valorar ciertas alteraciones que no podríamos reseñar con otros medios, por la precisión del sistema y por tratarse de unos diagramas perfectamente acotados en sus ejes direccionales, desprendiéndose de esta forma un control exhaustivo de localización y medida de cualquier irregularidad o elementos que se quiera analizar en el interior del objeto.

Si la radiografía convencional nos aporta una visión general del interior de un objeto, necesaria para la localización del mismo con la tomografía, podemos determinar la localización exacta de dicho objeto, e incluso tenemos la posibilidad de aislarlo y realizar reconstrucciones virtuales en tres dimensiones. Así, respecto de un clavo que se encuentre insertado en el interior de la ensambladura de una escultura, se puede precisar con un ajuste completo, no ya sólo su implantación, sino también su dirección espacial, su tamaño, su grado de envejecimiento u oxidación, así como su aislamiento espacial dentro de un eje de coordenadas. Finalmente se puede hacer una reconstrucción tridimensional de su volumen, es decir, un repertorio de reconocimiento íntegro a partir de imágenes.

La exploración comporta un análisis de tipo no destructivo, esto es muy importante, dado que en ningún momento se pierde ninguna muestra, ni fragmento del original para la inspección. La técnica expone a los pacientes y objetos a una mayor radiación respecto a las radiografías convencionales, si bien, en obras de arte es totalmente inocuo y no provoca ningún tipo de alteración.

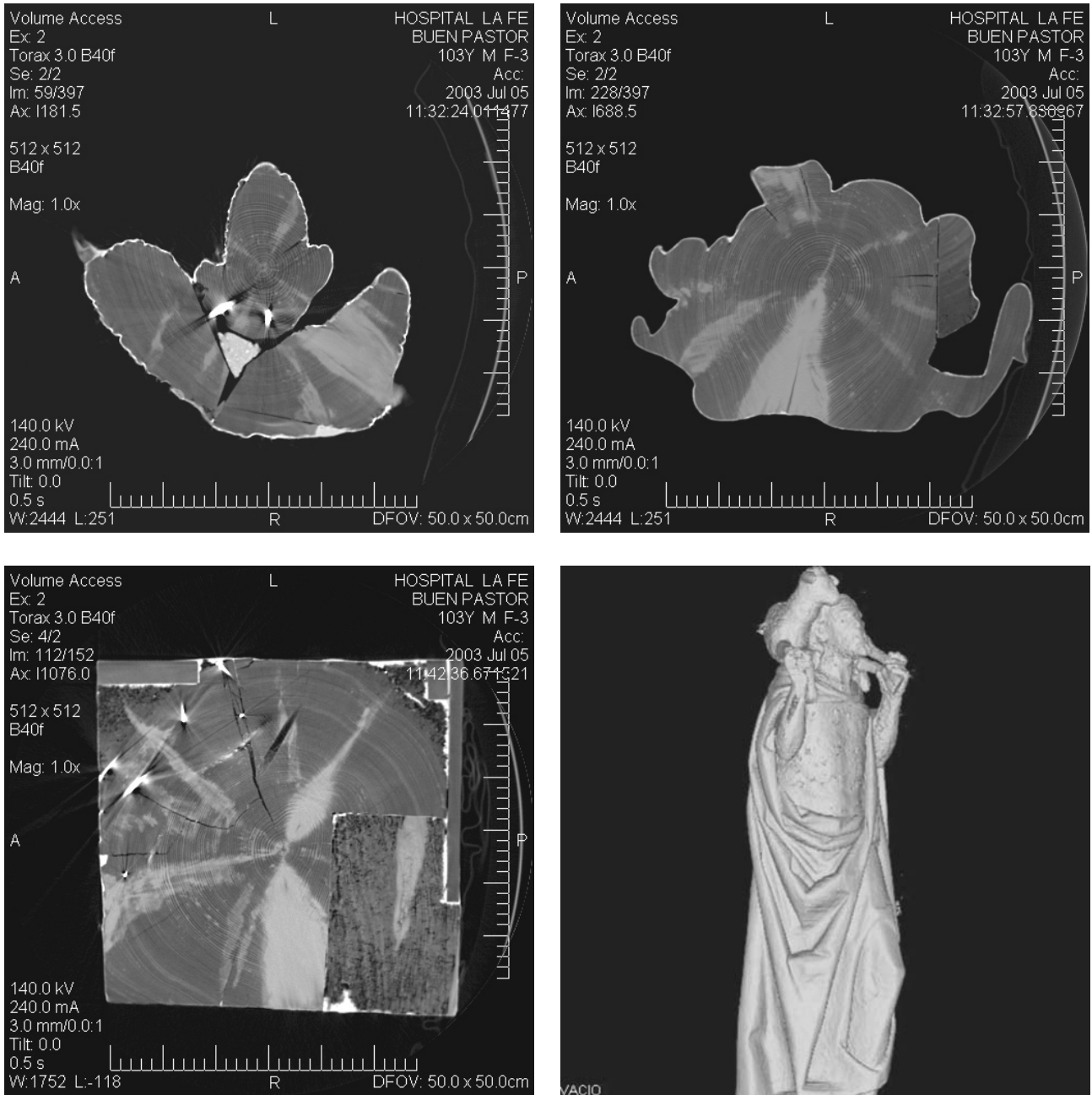


Figura 11. *Buen Pastor*. Secciones axiales de la escultura y reconstrucción tridimensional realizada por el tomógrafo

El mayor inconveniente estriba en la limitada dimensión del Gantry. Esta tecnología absorbida por la ciencia de la conservación y restauración ha surgido y se supone que seguirá evolucionando para en el campo de la medicina. Por lo tanto, esto conlleva unos condicionamientos que en ocasiones limitará la aplicación la obras de arte.

Las continuas mejoras y el constante avance sobre la técnica tomográfica junto con los sistemas informatizados permitirán en un futuro cercano ampliar los equipos con mayor número de cortes, llegando al umbral de los 256 simultáneos y por giro, a fin de poder adquirir reconstrucciones en 3D en tiempo real, posibilitando cortes sagitales y coronales también en tiempo real. El resto de mejoras vendrán de la mano de aplicaciones computarizadas, que ya hoy permiten un gran número de adquisición de datos y valores. Posibilita realizar reconstrucciones multiplanares y volumétricas, lo cual facilita la comprensión espacial del objeto y permite controlar procedimientos especiales como las

proyecciones de máxima y mínima intensidad (MIP), la representación de volumen (*volume rendering*) y las representaciones de superficie (*surface rendering*). En definitiva, la mayor precisión de las imágenes derivado del espesor submilimétrico de los cortes abre un campo de visualización en detalle de los objetos.

Como consecuencia, y observando desde otro punto de vista, la tomografía nos puede trasladar a tres tiempos distintos. La visión interna de los objetos nos ha aportado información de tres momentos diferentes: sobre el pasado en el que se creó la imagen al rescatar los métodos y técnicas de elaboración de las obras, sobre el presente al comprobar el estado exacto en el que se conservan estas estructuras internas, y sobre el futuro, a través del diagnosticando que con mayor exactitud nos proporciona la información topográfica que permitirá realizar una mejor y más certera propuesta de intervención para poder conservar de la mejor manera posible nuestro patrimonio.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este estudio ha sido posible gracias a la colaboración del equipo de radiología del Hospital "La Fe" de Valencia dirigido por el Dr. Pamies, y del equipo de radiología del Hospital de la Ribera de Alzira dirigido por el Dr. Esteban.

BIBLIOGRAFÍA

Althöfer, H. (1997): *La radiologia per il restauro, delle opere d'arte moderne e contemporanee*, Nardini, Firenze.

Bertani, D. (2006): "La reflectografía infrarroja", en *El trazo oculto. Dibujos subyacentes en pinturas de los siglos XV y XVI*, Museo Nacional del Prado, Madrid, 54-64.

Ineba, P. (1999): "Análisis físicos aplicados al estudio de las pinturas: radiografía y reflectografía de I.R." en *Recuperando Nuestro Patrimonio*, Consorci de Museus de la Comunitat Valenciana, Generalitat Valenciana, Museu de Belles Arts de Valencia, Valencia, 300-310.

Ineba, P. (2002): "Análisis físicos aplicados al estudio de las pinturas" en *Recuperando Nuestro Patrimonio II*, Consorci de Museus de la Comunitat Valenciana, Generalitat Valenciana, Museu de Belles Arts de Valencia, Valencia, 286-293.

Garrido, C. (1992): "Radiografía y reflectografía infrarroja: técnicas complementarias" en *Velázquez, técnica y estilo*, Museo del Prado, Fundación Central Hispano, Madrid, 39-52.

Gironés Sarrió, I. y Guerola Blay, V. (2006): "New computerized axial tomographic and digital radiographic methods applied to the analysis of Works of

art", en *The object in context: crossing conservation boundaries, Contributions to the Munich Congress*, 28 august, 1 september 2006, 304.

Guerola Blay, V. (1996): "Una escultura de Andreu Robres y Andreu Paradís. La imagen titular del Monasterio agustino de Aguas Vivas", en *AL-GEZIRA*, N. 9, Alzira, 365-379.

Guerola Blay, V. (2003): "La visión privilegiada. Documentación de archivo y tomografía computerizada aplicada en el análisis de la imagen de Ntra. Sra. de Aguas Vivas", en *R&R, Restauración y Rehabilitación*, n.º 80, América Ibérica, Madrid, 70-75.

AUTORES

Vicente Guerola Blay: Profesor Titular de Universidad del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la UPV. Doctor en Bellas Artes desde 1995 con una tesis doctoral sobre la Cerámica arquitectónica de Carcaixent (Valencia). Es investigador del Instituto Universitario de Restauración de la UPV, responsable del Taller de Análisis y Actuación en Pintura de Caballete y Retablos, y a su vez subdirector del Área de intervención en Pintura, Escultura y Ornamentación. Ha publicado estudios sobre cerámica arquitectónica valenciana, escultura y pintura de los siglos XVII i XVIII. Centra sus últimas investigaciones en el estudio sobre la aplicación de la Tomografía Axial Computerizada en Obras de Arte, cuyos últimos resultados han sido reseñados en el n.º 7109 de la revista Nature.

Ignasi Gironés Sarrió: Licenciado en Bellas Artes y Especialista Profesional en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente ejerce su profesión como Técnico Superior de Apoyo a la Investigación en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV, donde es a su vez, miembro investigador del Taller de Análisis y Actuación en Pintura de Caballete y Retablos. En estos momentos centra sus investigaciones, junto con el profesor Vicente Guerola, en el estudio sobre la aplicación de la Tomografía Axial Computerizada en Obras de Arte.

English version

TITLE: *Studies, trials and results in the application of Computed Axial Tomography scanning in the analysis of highly permeable sculptures*

ABSTRACT: *The use of radiographic techniques in the study of works of art has unveiled information, data and new images of the objects which were impossible to achieve until now. The evolution of such techniques has meant an increase in the precision and accuracy of the information obtained, which until now, could only be approached by basic exploration methods. The multi-cut tomography (MCT) technique might be seen as the latest generation in radiographic methods, which, applied to the study of works of art, has widened the range of possibilities and results, extending the spectra of exploration methods with internal images of the objects.*

KEYWORDS: *computed axial tomography, CAT scan, multi-cut tomography, MCT, X-ray, helicoidal tomography, gantry, voxel, scanogram*