



*As várias facetas da  
interdisciplinaridade em  
Arqueologia*

# TÉCNICAS DE IMAGEN DE RAYOS X Y ARQUEOLOGÍA. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y POTENCIALIDAD DE LA TÉCNICA

Oscar Lantes-Suárez

Universidade de Santiago de Compostela. RIAIDT. Unidade de Arqueometría. 15782.  
Santiago de Compostela. España  
[oscar.lantes@usc.es](mailto:oscar.lantes@usc.es)

M. Pilar Prieto-Martínez

Universidade de Santiago de Compostela. Grupo de Investigación SINCRISIS.  
Departamento de Historia. 15782. Santiago de Compostela. España  
[pilar.prieto@usc.es](mailto:pilar.prieto@usc.es)

# Técnicas de imagen de rayos X y arqueología. Estado de la cuestión y potencialidad de la técnica

Oscar Lantes-Suárez

M. Pilar Prieto-Martínez

## Historial do artigo:

Recebido a 08 de setembro de 2017

Revisto a 12 de setembro de 2017

Aceite a 20 de setembro de 2017

## RESUMEN

Se presenta una síntesis de la utilidad de la tomografía y radiografía de rayos X en el campo de las humanidades. Estas técnicas están cobrando cada vez más importancia, dado que al no ser destructivas permiten realizar un examen de los restos arqueológicos y los bienes culturales, en su exterior e interior, antes de intervenir sobre ellos. Nuestro objetivo en este trabajo es simplemente realizar un repaso, valorando los campos de intervención de estas técnicas y su utilidad.

**Palabras clave:** Tomografía de haz de Cono, Tomografía Axial Computerizada, Microtomografía de rayos X, Láser 3-D, Radiografía

## RESUMO

Uma síntese da utilidade da tomografia e radiografia de raios-x é apresentada às humanidades. Estas técnicas tornam-se cada vez mais importantes, uma vez que não são destrutivas, permitindo um exame dos restos arqueológicos e dos bens culturais, dentro e fora, para ver as condições em que os restos são encontrados antes de intervir em eles. O nosso objetivo neste trabalho é simplesmente realizar uma revisão, avaliando os campos de intervenção dessas técnicas e sua utilidade.

**Palavras-chave:** Tomografia de feixe de cone, Tomografia Axial Computerizada, Microtomografia de raios X, Laser 3-D, Radiografia.

## ABSTRACT

A synthesis of the usefulness of x-ray tomography and x-ray is presented to the humanities. These techniques are becoming more and more important, since they are not destructive, allowing an examination of the archaeological remains and the cultural property, inside and outside, to see the conditions in which the remains are found before intervening on them. Our

objective in this work is simply to perform a review, evaluating the intervention fields of these techniques and their usefulness.

**Key-words:** Cone beam tomography, Computed axial tomography, X-ray microtomography, 3-D láser, Radiography.

## 1. Introducción

Los rayos X como técnica de imagen no es una aplicación nueva en humanidades (RYE, 1977) pero ahora está cobrando cada vez más importancia. Como muchas otras técnicas analíticas utilizadas desde el siglo pasado, requiere una evaluación de su funcionamiento en este campo, así como un análisis de aquellos aspectos que potencialmente pueden contribuir a mejorar su uso y aportar nuevos conocimientos a las disciplinas que están apoyando. Históricamente, la radiografía y la tomografía de rayos X, y por extensión otros tipos de tomografía, han tenido un uso predominantemente médico o clínico, sin embargo la gran versatilidad de la técnica y el hecho de permitir observar el interior de objetos sin destruirlos ha hecho que a lo largo de los años sus usos se hayan extendido al campo de la industria (Tomografía Computada Industrial) para la búsqueda de discontinuidades macroscópicas y otros cambios internos. Más recientemente, se ha extendido a los ámbitos de la arqueología, la historia y la conservación de bienes culturales. Con estas técnicas se puede analizar cualquier pieza de cualquier tipo de material que se nos ocurra, simplemente debemos adaptar protocolos adecuados en cada caso y desarrollar las metodologías de interpretación adecuadas.

Por esta razón, creemos que es apropiado realizar un repaso del uso de los rayos x en imagen desde su descubrimiento hasta la actualidad para valorar su uso en diferentes disciplinas de Humanidades. El objetivo pues de este trabajo es realizar una síntesis de sus aplicaciones en estas áreas, en especial la radiografía y la tomografía, para plantear posteriormente su potencial para la investigación, divulgación y restauración, tanto en la disciplina de la arqueología como en arte.

## 2. Rayos X. Radiografía y Tomografía

Los rayos X son descubiertos en 1895 por Wilhelm Conrad Röntgen. No mucho después de esta fecha se demuestra que son un tipo de radiación electromagnética. El uso diagnóstico de los mismos se establece tempranamente a través de la realización de radiografías impulsado por Faber en 1914 (ANTELO et al., 2008) y apoyado incluso por Marie Curie.

Podríamos definir a la radiografía como la imagen formada sobre una placa fotográfica por la superimpresión de los rayos después de que hayan atravesado un determinado objeto. En función del diferente espesor, densidad y composición atómica de ese objeto los rayos X se atenúan más o menos por interacción con los electrones de los átomos de la muestra. Esto se traduce en un velado en diferente grado en una placa fotográfica. Se obtiene así una representación bidimensional de todas las estructuras del objeto superpuestas. A principios del siglo XIX, el radiólogo Alessandro Vallebona propuso una variante de la radiografía con el fin de evitar la superposición de las estructuras para así obtener una rodaja simple de un

objeto. Este incipiente método es el origen de la tomografía, posteriormente desarrollada por Godfrey Hounsfield en 1972 (SIMONOV, 2004).

La tomografía se caracteriza porque la fuente de rayos X y el detector se desplazan sincrónicamente en direcciones opuestas durante la exposición provocando que las estructuras en el plano focal aparezcan nítidas mientras que las estructuras de los otros planos aparezcan borrosas. La posterior superposición de estas imágenes permite obtener una representación tridimensional de cada uno de los puntos del objeto. En un inicio se aplicó la Tomografía de rayos X médica denominada *convencional* y con la llegada de los ordenadores se extendió el uso de la Tomografía de rayos X *computerizada* (TC). Esta última, a través de un procedimiento matemático que se llama reconstrucción tomográfica, emplea diversos algoritmos (*proceso de retroceso filtrado* y *reconstrucción iterativa*) que posibilitan obtener una imagen tridimensional que podrá ser posteriormente visualizada bidimensionalmente como rodajas o cortes en el eje axial o en cualquier otro eje - sagital, coronal, oblicuo - o incluso se puede generar una representación volumétrica. La variante clásica de la tomografía es la Tomografía Axial Computerizada de uso fundamentalmente médico. Otra variante, de amplio uso en odontología es la Tomografía Computerizada de Haz de Cono o CBCT, desarrollada a finales de los años 90 (LENGUAS et al., 2010). El término tomografía, hoy en día, es de amplio uso, y no sólo se aplica al procesado de imágenes producidas por fuentes de rayos X, sino que se extiende a todas aquellas técnicas que utilizan el procesado de imágenes por secciones, generándose así tomografías por sondas físicas diferentes de los rayos X como los rayos gamma, electrones, positrones, neutrones, iones, ultrasonidos, etc. (1)

### 3. Campos de aplicación de la Tomografía y la Radiografía

La principal aplicación de las técnicas radiográficas y tomográficas, como se comentó, han sido históricamente y en la actualidad los usos médicos. Si se realiza una revisión bibliográfica sobre estas disciplinas, este tipo de usos son los que ocupan la mayoría de publicaciones (2). En este trabajo hemos realizado una búsqueda de aplicaciones tomográficas y radiográficas excluyendo justamente este campo para centrarnos en los usos de tipo arqueométrico. Destaca que el número medio de publicaciones en revistas especializadas en arqueometría no es muy elevado, desde los inicios de los primeros trabajos en este campo (véase p. ej. POLLACK, BRIDGMAN, 1954) hasta la actualidad (vd. **Tabla 1.**). En los buscadores científicos, incluso realizando filtros por palabras clave específicas, son muchas las publicaciones potenciales que el buscador recopila, pero una vez revisadas, gran parte de ellas no focalizan sus objetivos en estudios radiográficos o tomográficos en arqueometría. En estos casos, se descartó su inclusión en esta revisión. Esto también sucede en las revistas, como ejemplo el caso de *Antiquity*, de las 32 citas localizadas con la palabra clave tomografía, tan solo 4 trataban realmente con esta temática.

Palabras clave	Radiography	Tomography	Tomography & Archaeometry
<i>Revistas científicas</i>			
Archaometry	24	21	n.r.
Journal of Archaeological Science	65	95	n.r.
Geoarchaeology	5	14	n.r.
Antiquity	52	32	n.r.
<i>Buscadores científicos</i>			
Science direct	n.r.	300.000 (300)	150
Springerlink	n.r.	114000 (500)	30
Wiley Online Library	n.r.	121000 (500)	76
Google Academic	n.r.	1470000 (300)	623
n.r.: no revisado; (): publicaciones revisadas			

**Tabla 1.** Registro de la búsqueda bibliográfica. Entre paréntesis, referencias revisadas.

Dentro del conjunto de publicaciones reunidas en este trabajo, alrededor de 120, más de la mitad se corresponden con artículos de la revista *Journal of Archaeological Science* (**vd Tabla 2.**), siendo la segunda en frecuencia *Archaometry* con alrededor de 20. En otras revistas, de muy diversas temáticas aparecen de un modo muy ocasional artículos de tomografía y radiografía, así como también es bastante ocasional el número de trabajos publicados entre actas de congresos y capítulos de libros (un total de 13 recopilados).

<i>Revistas de Arqueometría</i>	
Antiquity	4
Archaometry	20
Geoarchaeology	4
Journal of Archaeological Method Theory	-
Journal of Archaeological Science	59
<i>Otras revistas</i>	
Analytical and Bioanalytical Chemistry	1
Applied Physics A	2
Archives and Museum Informatics	1
Biological Trace Element Research	1

Cient Dent	1
Computer Science	1
Dendrochronologia	1
Biomedical Engineering	1
Geophysical Research Abstracts	1
Insectes sociaux	1
International Journal of Imagin Systems and Technology	2
Journal of Analytical Atomic Spectrometry	1
Journal of Applied Geophysics	1
Journal of bone and Mineral Metabolism	1
Journal of Human Evolution	1
Journal of Imagin Systems and Technology	2
Materials Research	1
Materiales de Construcción	1
Maxilaris	1
Meteoritics & Planetary Science	1
Methods in Physics Research B	1
Microscopy Research Technique	1
Mineralium Deposita	1
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A	2
Numerical Mathematica	1
Radiology	2
Refractories and Industrial Ceramics	1
Science of the Total Environment	1
X Ray-Spectrometry	1
<i>Libros y congresos</i>	
Actas de congresos	9
Capítulos libros	5
<b>TOTAL</b>	<b>136</b>

---

**Tabla 2.** Publicaciones incluidas en la revisión bibliográfica.

A pesar de no estar muy extendido el uso de estas técnicas, sí nos encontramos una amplia diversidad de aplicaciones en objetos arqueológicos y patrimoniales. Como estudio **general** de radiografía aplicado a Bienes Inmuebles podemos destacar a Antelo et al. (2008). Van Tiggelen (2004) describe también su aplicación desde sus orígenes en el arte egipcio. Seguin (1990) y Casali et al. (2010) realizan una síntesis comparativa entre tomografía de alta resolución y radiografía digital aplicados a objetos arqueológicos e histórico-artísticos y patrimonio cultural. Otros trabajos incipientes se constriñen a la tomografía, así Tout et al. (1980) ponen varios ejemplos de aplicación de uso en objetos arqueológicos como una urna de cremación romana, una estatua egipcia y objetos de madera. Natterer y Ritman (2002) hacen una revisión del pasado y una proyección del futuro de la Tomografía Computerizada de rayos X incidiendo en los diferentes avances técnicos y el trasfondo físico y matemático. En cuanto a la tomografía de haz de cono, Berdondini et al. (2011) realizan una recopilación de citas del uso de equipos médicos y comparan los resultados obtenidos con un equipo industrial irradiando un vaso

cerámico lleno de monedas. Otros trabajos se basan en avances en el procesado algorítmico en la reconstrucción tomográfica (NATTERER, 1985). Asimismo, hay investigaciones relacionadas con la aplicación de TAC a esculturas y tallas de madera (JUANES, JUÁREZ 2011; JUANES 2010), e incluso hay algún otro trabajo de aplicación de la propia tomografía en general a estudios de obras de arte (CESÁREO et al., 2002).

Aunque en esta revisión no nos vamos a centrar en los usos **médicos** queremos destacar algún trabajo que es de utilidad a la hora de comprender estas técnicas. Aplicaciones TC clásicas en odontología y ortodoncia así como su comparación con otras técnicas podemos encontrarlas en los trabajos de Cheninn (2010) y de Lenguas et al. (2010). Simonov (2004) centra su trabajo en los problemas físicos que puede causar la tomografía en medicina. Otra aplicación médica interesante en microtomografía, en la que se incide sobre el tipo de información que se puede extraer, la realizan Barbier et al. (1999) en hueso de rata para determinar su edad. Queremos destacar también otra publicación curiosa con una orientación evolutiva y antropológica sobre PET (emisión de positrones); es la de Stout et al. (2000), que estudian el cerebro humano para ver qué áreas se activan al elaborar herramientas de piedra. El área industrial también destaca en sus aplicaciones tomográficas en ingeniería (BROWNE et al., 1998) o a la cerámica industrial y la industria petrolífera (APPOLONI et al., 2002; APPOLONI et al., 2004). En todos estos casos, el poder conocer la estructura interna de las rocas y otros materiales supone un avance incalculable en mejora técnica y en rendimiento de los ensayos.

El campo de estudio más clásico de estas técnicas de registro de la atenuación de los rayos X es el de los **huesos y dientes**, tanto en su uso médico o sobre restos arqueológicos humanos y animales, la experiencia médica aportará un gran conocimiento que se volcará en el campo de la arqueología y paleontología. Price y Molleson (1974) ya realizan tempranamente radiografías a los huesos del hombre de Kabwe de Zambia, Kreutzer (1992) estudia la densidad mineral en huesos de bisontes, Dobney y Brothwell (1987) evalúan la cantidad de cálculos dentales sobre dientes humanos y animales, Novacosky y Popkin (2005) miden radiográficamente la densidad del hueso de cánidos en yacimientos arqueológicos de Canadá, De Luca et al. (2010) radiografían restos humanos medievales españoles e italianos con el objeto de estimar su edad a través del análisis de sus caninos y Domett et al. (2011) analizan los restos óseos en tumbas de Camboya de la Edad del Hierro para evaluar daños. Una aplicación conjunta de tomografía y radiografía la encontramos en la publicación de Hershkovitz et al. (1995) para estudiar la heterogeneidad de la matriz de yeso aplicada a cráneos neolíticos de Israel; en la de Harvig et al. (2011) para evaluar la intensidad de la cremación en huesos conservados en urnas del Bronce Final en Dinamarca, o en el trabajo de Horwitz y Smith (1990) que estudia radiográficamente variaciones en el espesor cortical de huesos en la población de una isla de Escocia. Ambas técnicas también se combinan en Klaus et al. (2010) donde estudian la morfología de lesiones en huesos del Perú costero prehispánico y estudian el ADN antiguo esquelético con evidencia en infección de tuberculosis. Otro estudio relacionado con el análisis de ADN es el de Paredes et al. (2012) en el que se evalúa la influencia de los rayos X en esta molécula conservada en piel de pájaros. La tomografía va ganando adeptos y se aplica en solitario en numerosos trabajos en material hueso como en el análisis de cráneos enyesados neolíticos del Levante (BONOGOFISKY, 2002), en el estudio de la destrucción post-deposicional de restos arqueológicos de fauna en cápridos (LAM et al. 1998; 2003), en medidas de densidad mineral en huesos fósiles de babuinos de cuevas (CARLSON, PICKERING, 2004) y en tibias humanas prehispánicas –aplicando una herramienta de software específico QCT bone Mineral AnalySys System- (GONZALEZ-REIMERS et al., 2007), en tratamientos de conservación y restos humanos del pleistoceno en Atapuerca (España) (LÓPEZ-POLÍN et al., 2008), o en un estudio tafonómico y de evolución en huesos y cráneos de *Homo erectus* de China (SHANG et al., 2008). Así mismo, la tomografía ha sido aplicada en estudios de técnicas mortuorias en cráneos humanos neolíticos de Anatolia tratados con arcilla

y pintados con ocre rojo (ÖZBEK, 2009), en cremaciones etruscas conservadas en recipientes de cerámica con mapeo de los objetos metálicos (MINOZZI et al., 2010) o para documentar por primera vez el estado de conservación de un cerebro contenido en un cráneo británico-romano conservado en un ambiente húmedo de Heslington (O'CONNOR et al., 2011). La variante microtomográfica también se ha aplicado en el análisis histomorfométrico de tejido de hueso de un esqueleto neolítico (THESCHNER, 2007) o en el análisis de los agujeros de un fémur de oso del neandertal, del paleolítico superior en Slovenia, que se cree que pudo ser un objeto musical (TUNIZ et al., 2011). En paleontología también podríamos citar los trabajos de Carretero Díaz et al. (2010) en el que cuentan la utilidad del TAC en el estudio, conservación y difusión del patrimonio paleontológico de la Sierra de Atapuerca. En Llácer Martos et al. (2014) también estudian algún elemento paleontológico, en concreto reptiles de la formación *Tremp* de Barcelona.

El análisis de **momias** es otro gran campo de aplicación con gran repercusión mediática. Se realizan radiografías y/o tomografías de rayos X clásicamente en momias egipcias antiguas (HITARA, 2005) y con nuevo énfasis en otro tipo de restos momificados europeos prehistóricos como el hombre de hielo de los Alpes del 5300 BP - en el que se encuentra una punta de flecha de sílex incrustada en su tórax - (NEDDEN et al., 1994; GOSTNER, VIGL, 2002; PERNTNER et al., 2007; GOSTNER et al., 2011) o en momias medievales del renacimiento italiano conservadas en la cripta de la capilla del hospital de Santa María della Scala (Siena) y rellenas de restos de plantas (GRIUFFA et al., 2011). Es especialmente destacable la belleza de imágenes tomográficas obtenidas y/o recopiladas por National Geographic sobre diversas momias humanas y animales, con unos resultados de procesado 3-D en color muy impactantes y altamente divulgativas (3), en especial destacando las momias de un cocodrilo con sus crías colocadas en su parte inferior, pertenecientes al Museo Nacional de Antigüedades de Leiden (Holanda).

Como trabajos interesantes para la discusión del uso de estas técnicas en **arqueología y patrimonio** se podrían citar los trabajos de Rossi y Cassali (2002a, 2002b) y Cassali et al. (2009, 2010). En el primero se resume la actividad llevada a cabo en la Universidad de Bolonia en el desarrollo de sistemas de tomografía computerizada avanzados para la aplicación en arqueometría y presentan el análisis de una fibula de bronce y una momia egipcia. En el segundo, a través de la radiografía de un cuadro y una momia nos avanzan el beneficio de usar una pantalla CCD en lugar de una placa fotográfica y además introducen el uso de una fuente de microfoco. En Cassali et al. (2009) inciden en el salto que la tomografía computerizada ha dado desde la medicina a la industria al campo del patrimonio cultural, en especial resaltando la utilidad que tiene la reconstrucción 3D a partir de la tomografía en el análisis de daños en bienes culturales patrimoniales. Cassali et al. (2010) comparan la nueva radiografía digital y la tomografía computerizada y su uso potencial en el ámbito del patrimonio cultural.

Dentro del material cultural mueble más importante en arqueología se encuentra la **cerámica**, esto se refleja también en la cantidad de estudios con rayos X que se han elaborado con ellas. Se utiliza la radiografía para establecer la relación entre procesos de modelado (RYE, 1977) utilizando cerámica de Papúa de la cual conocen su secuencia de operaciones de modelado. Otros autores como Berg (2008), utilizan la tomografía con resultado positivo para diferenciar cerámicas realizadas a torno y de las realizadas a mano, además de permitirle profundizar en las técnicas de elaboración de recipientes antiguos. Greene y Hartley (2007), analizando un conjunto de piezas superior a 500, pudieron discriminar diferentes estrategias de manufactura, así como la cuantificación de espesores y densidades en vasijas (PIERRET et al., 1996). Dos de los trabajos más importantes y generalistas de aplicación de la radiografía a los materiales cerámicos son los de Carr y Riddic (1990) y Carr (1990), en el primero, se describen los principales métodos de laboratorio existentes en el momento, analizando las principales

variantes de los procedimientos radiográficos industriales y médicos para evaluar su utilidad en los estudios cerámicos arqueológicos y comparan las técnicas xeroradiográficas y radiográficas, entre otros aspectos. En el segundo trabajo se habla más pormenorizadamente de las aplicaciones y potenciales de los análisis radiográficos en cerámica, en cuanto a la detección de churros y bloques de arcilla, la medición de su tamaño, morfología, la identificación del tipo de material, tamaño, densidad y orientación de inclusiones no plásticas o agujeros, sistema de factura, partes escondidas de la vasija. Estos factores pueden ser utilizados para clasificar los fragmentos por sus vasijas de origen, para identificar métodos de manufactura, para asignar función de vasija, para complementar con la petrografía y para identificar alteraciones post-deposicionales, y a partir de ahí, reconstruir rutas de comercio, funciones de asentamientos, interacción social, etc. Dicho trabajo, en un análisis histórico, cita que la radiografía se ha usado ocasionalmente por los arqueólogos para estudiar cerámicas al menos desde 1930. En la exposición de las líneas de investigación que estamos desarrollando (ver más adelante) comentamos el desarrollo de estas aplicaciones en material cerámico prehistórico y medieval. Destacamos también los trabajos de Mara y Sablatnig (2006) y Mara (2009) en los que no aplican tomografía sino técnicas de estimación 3D para estudiar morfología en cerámicas prehistóricas. Un estudio combinando de radiografía y tomografía de cerámicas lo encontramos en Vainberg et al. (1985) comparando la efectividad de ambas técnicas en cerámicas de bajas densidades. En otros estudios se utiliza exclusivamente la tomografía como técnica de estudio estructural p. ej. y por primera vez en vasijas romanas para ver el contenido de cremaciones (ANDERSON, FELL, 1995), en cerámica antigua de Oriente Próximo (APPLBAUM, APPLBAUM, 2005), en cerámicas altomedievales italianas para estudiar su homogeneidad y evaluar su interferencia con la técnica de termoluminiscencia (BARBERINI et al., 2009) o para investigar métodos de modelado de cerámica aplicando diversas morfometrías, 3D y software de modelado sólido sobre piezas funerarias de la Edad del Hierro de yacimientos de Macedonia Grecia (BOUZAKIS et al., 2011), en esta publicación se destaca la mejora que supone la tomografía respecto a la radiografía en estos estudios. Finalmente, un estudio muy completo de la aplicación de la radiografía digital, aplicado a cerámica antigua china es el de Greene et al. (2017), en el, además de presentar un buen resumen de la base teórica de esta técnica, establece protocolos de medida y de procesado de imagen aplicables a conjuntos elevados de fragmentos cerámicos y establece una comparación con el uso de una aproximación tomográfica.

Los **metales** son otro tipo de material arqueológico que ha sido analizado por diferentes métodos además de los tipológicos, destacando los análisis metalográficos, microscópicos (MO y SEM) y composicionales (EDS, XRF, etc.). La aplicación de la radiografía supuso un gran avance para caracterizar las piezas sin destruirlas y observar aspectos ocultos bajo capas de corrosión, como las inscripciones cuneiformes que pudieron hacer visibles en láminas de bronce corroído de Turquía (TUGRUL, BELLI, 1994), o la evaluación del estado de preservación de lanzas de hierro muy deteriorados de ambientes con saturación hídrica en Dinamarca (MATTHIESEN et al., 2004). Otras aplicaciones radiográficas a los metales permiten definir aspectos de carácter tecnológico en cuanto al estudio de técnicas de fundición, como por ejemplo en el carnero de bronce helenístico de Israel del yacimiento de la bahía de Athlit, en el sur de Haifa, Israel (ORON, 2006) y procesos de manufactura como es el caso de las anclas de hierro de época Islámica sumergidas a 70 m en el Levante del pecio Tantura F, descubierto en 1995 en Dor (Tantura) (ELIYAHU et al., 2011). La tomografía, de más reciente aplicación, también es de gran utilidad en objetos metálicos como muestran los trabajos de Rizescu et al. (2002) quienes tomografían el cañon de Giurgiu para detectar los defectos de fundición, el material de corrosión y extraen información para aplicar un procedimiento de restauración. Bonadies (2007) analiza en un tomógrafo industrial varios metales de la colección del Museo de Arte de Cincinnati para observar su estructura interna, Bouzakis et al. (2008) extraen información sobre el diseño y manufactura de un *especulum* vaginal de bronce de Dion

(Grecia) del período helénico antiguo y Van der Linden et al. (2010), con microtomografía, estudian objetos de metal esmaltados sin tener que eliminar esta capa. Otro estudio interesante, más relacionado con arqueomineralogía es el de Kyle et al. (2008) que analizan oro y minerales en una cantera de pórfiro y en depósitos de cobre y oro de Papúa con el objeto de cuantificar tamaños de grano, estudiar su morfología y asociación con otros minerales, información muy útil en la tecnología de explotación de las menas.

Aunque la técnica radiográfica es habitual en museos y en estudios de restauración y conservación, son menos frecuentes las publicaciones con análisis tomográficos y radiográficos de **pigmentos y pinturas** con una orientación arqueológica (GRIM, ALLISON, 2004; NOBUYUKI, 2005; MORIGI et al., 2007). Podemos destacar la aplicación de tomografía de haz de cono, complementada con otras técnicas, a dos pinturas sobre tablas de madera de Fabriano para el estudio de la conservación y la distribución espacial de los pigmentos proporcionando una evidencia del uso de una técnica particular del pintor para delinear las figuras de los apóstoles (MORIGI et al., 2007).

Otro campo de aplicación importante de la tomografía son los **materiales pétreos**. Un trabajo global es el de Jacobs et al. (1985) sobre aplicaciones y principios de la tomografía aplicada a los materiales de construcción, o el de Abel et al. (2011) aplicado al uso de microtomografía a líticos o sobre el diagnóstico y deterioro de la piedra en el patrimonio construido de Veniale et al. (2008), este autor incluye a la tomografía entre otras técnicas que describe. Huppertz et al. (2009) aplica la tomografía en el estudio de la escultura de la reina egipcia Nefertiti y el estuco de caliza y yeso que la recubre encontrando reformas en la parte interna y la superficie del busto indicando que se utilizó un proceso en varios pasos para crear la pieza. Ryan y Milner (2006) estudian la forma y tamaño en otro material lítico, una punta de flecha de sílex clavada en una tibia hace 700 años. Otros autores aplican microtomografía en cuentas antiguas de piedras para visualizar marcas de pulido que no son bien visibles en SEM y de las que no se puede obtener un molde de negativo de silicona (YANG et al., 2009b, 2011), para analizar un hacha de serpentina (BERNARDINI et al., 2010) o para revelar la petrofábrica, presencia de inclusiones, distribución de sulfuros y metal de otros materiales rocosos como meteoritos condritos (EBEL, RIVERS, 2007).

Otros materiales, en este caso **orgánicos** analizados por este tipo de técnicas son azabache romano-británico arqueológico usado para joyería con el objeto de caracterizarlo radiográficamente y compararlo con fuentes geológicas (HUNTER et al., 1993) o el ámbar dominicano que se estudió microtomográficamente en un diagnóstico radioentomológico (GRECO et al., 2011).

La **madera** también se ha experimentado en radiografía y tomografía, así esculturas de madera decoradas con pintura, elementos de bronce, tejidos vegetales o caliza de las estatuas de los guardianes de la tumba de Tutankamon se radiografiaron para detectar huecos ocultos en su interior (KONDO, 2005) y estatuas de madera japonesas de microtomografiaron para estudiar su estructura interna (MORIGI et al., 2010). Estas técnicas también tienen utilidad como herramienta auxiliar en la dendrocronología, técnica de datación basada en contar los anillos de los árboles. Kouris et al. (1981) evaluaron la medida de densimetrías con rayos X midiendo con un microdensitómetro las radiografías escaneadas, y observando esa atenuación podían contar los anillos de los árboles así como detectar cambios ambientales en el pasado. Reimers et al. (1989) tomografían esculturas pintadas, un bonsai y diferentes objetos de madera que no tienen los anillos visibles pudiendo contarlos, en especial en las coníferas en las que son notables las diferencias de densidad entre las capas de verano y las de invierno. Okochi et al. (2007) utilizan microtomografía con objetos de arte folk japoneses de madera demostrando que se pueden visualizar los anillos de la madera de roble y haya y realizan también una comparación con la radiografía de rayos X suaves, que es el método

convencional usado en dendrodensitometría. Grabner et al. (2009) también aplican esta técnica en madera de diferentes especies en alta resolución, hasta las 20  $\mu\text{m}$  que son necesarios para poder realizar las identificaciones de las especies y los estudios de dendrocronología con precisión.

Otros objetos vegetales que se han sometido a estudio microtomográfico son **carbones** arqueológicos y geológicos a efectos de comprobar su contaminación para posteriormente realizar dataciones de  $^{14}\text{C}$  (BIRD et al., 2008), semillas en tomografía (más de 1000 taxa), variedades salvajes y domésticas que se estudiaron morfométricamente para evaluar variaciones de tamaño con importantes aplicaciones en etnobotánica (ROVNER, GYULAI, 2007) y tejidos y fibras con radiografía de rayos X suaves para determinar características de construcción ocultas en fibras de sandalias Anasazi (YODER, 2008). Un material curioso que se ha analizado hace más de setenta años radiográficamente son sellos de papel (POLLACK, BRIDGMAN, 1954).

Otro grupo de aplicaciones, que han sido más explotadas en radiografía que en tomografía son las **paleoambientales**. Butler (1992) trabajó con suelos arqueológicos y sedimentos, Dugmore y Newton (1992) en capas finas de tefras (depósitos de ceniza volcánica sedimentada) en turba escocesa, detectando estas capas y revelando otras estructuras de significado arqueológico y paleoambiental; o Denham et al. (2009) realizaron una aproximación multi-proxy con radiografía, diatomeas, polen y microcarbones de diversos artículos arqueológicos del holoceno en Nueva Guinea. Finalmente, en el caso de Galicia es interesante el estudio de sedimentos marinos realizado con el equipo CT del Hospital Rof Codina (USC) de Lugo (MENA et al., 2015).

El **ADN** también ha sido objeto de estudio, en este caso se estableció un estudio piloto por Grieshaber et al. (2008) sobre los efectos de los rayos X sobre esta molécula cuando era sometida a tomografía computada y luego se realizaba amplificación de ADN de hueso de cerdo. Concluyeron que en general, la exposición a la radiación de fragmentos de ADN hace decrecer la cantidad que es amplificable, por lo que es conveniente registrar las medidas tomográficas que se realicen pensando en posibles aplicaciones posteriores de otras técnicas.

El descubrimiento de la **radiación sincrotrón**, de gran relevancia en multitud de técnicas difractométricas y espectroscópicas ha sido también de utilidad tomográfica. El haz de rayos X de muy alta intensidad y colimación ha permitido mejorar la microtomografía con su repercusión en materiales arqueológicos. Carlson et al. (1987) describen las características técnicas de esta técnica donde pueden hacer disminuir los tiempos de exposición de días a minutos o incrementar la resolución espacial desde 100  $\mu\text{m}$  a casi 1  $\mu\text{m}$ . Mizuno et al. (2010) aplican esta técnica para identificar una máscara de madera japonesa del s. XVI permitiendo una resolución de 0,5  $\mu\text{m}$  e identificando el género vegetal (*Salix*) de la madera. Reiche et al. (2011) utilizan dicha técnica sobre objetos prehistóricos de marfil, hueso y cuerno y observan cómo se pueden diferenciar estos materiales por sus rasgos micromorfológicos.

Tomografía y radiografía también han sido utilizadas como herramientas de trabajo en **conservación y restauración** en diferentes tipos de bienes culturales. Destacamos algún trabajo, realizado para valorar mejor sus estados de conservación, el estudio radiográfico de un óleo de Pedro Núñez de Villavicencio (ALBA, JOVER, CELIS, 2009) o de una obra del pintor realista Antonio Berni (BARRIO, MARTE, 2010), o las aplicaciones radiográficas en conservación de cerámicas (Centro nacional de Conservación y Restauración de Chile, en línea, 2017; LÓPEZ, CARAMÉS, ACEVEDO, 2010) o el estudio tomográfico del Ecce Homo de L'Olleria de Valencia (IVCRBC, en línea, 2017) o incluso el del Cristo de las Penas Almensilla de Sevilla (IAPH, 2017).

## 4. Comentarios Finales

La aplicación de las técnicas de imagen de rayos X, como la tomografía computerizada y la radiografía digital tienen un amplio recorrido en el campo de las humanidades despegando desde hace unos años de su uso restringido en la medicina, la industria y la seguridad. En toda la exposición anterior ha quedado patente como su uso se ha experimentado con éxito en diversos objetos arqueológicos de diferente composición, como metales, vidrio, madera, cerámica, hueso, etc. así como en diferentes bienes culturales como cuadros, esculturas, joyería e incluso en paleoambiente. Los objetivos que justifican su uso son variados, bien desde la caracterización de las piezas tomografiadas, el estudio de la estructura interna, así como con fines de conservación, restauración y divulgación.

Su gran ventaja, además de ser una técnica no-destructiva y versátil, es la facilidad con la que se puede visualizar la estructura interna y realizar complementariamente reconstrucciones 3D de partes interiores y del contorno exterior sin tener que realizar ningún muestreo sobre la pieza. La frecuencia de uso de estas técnicas varía en función del tipo de técnica y de la pieza de estudio, muchas veces por no disponer de recursos económicos para su análisis, por falta de disponibilidad de equipamiento, por falta de personal cualificado para el análisis posterior de los resultados o también, y muy habitualmente por desconocimiento de los recursos radiográficos y tomográficos que pueden estar al alcance de los investigadores y restauradores-conservadores.

El tipo de técnica, radiográfica, tomográfica -de rayos X, o con el usos de otras sondas-; y las posibles subtécnicas a usar dependerá de los objetivos que se planteen el estudio que se vaya a realizar. Sin menoscabar la importancia de la posibilidad de acceso a las mismas, siempre es necesario definir bien qué es lo que se quiere hacer y las características de nuestras muestras, siendo dos de las más importantes más importantes son el tamaño de la obra y la resolución necesaria. Si bien siempre sería deseable la mayor resolución en el mayor tamaño de muestra, esto no suele ser posible técnicamente, y así pequeñas muestras, como fragmentos de cerámica se podrán estudiar con mucho detalle con técnicas microtomográficas, mientras que grandes ánforas, u otras cerámicas, o grandes tallas de madera, será más apropiado su estudio en técnicas de tipo TAC. Objetos de mayor envergadura, y, en especial si son planos, será recomendable el uso de radiografías de gran formato. Lo más importante es que con estas técnicas, de un modo no destructivo, vamos a poder observar el interior de los objetos, algo totalmente invisible para otras técnicas. Los campos de aplicación son ilimitados. Sin duda estas técnicas tienen mucho potencial en la investigación de futuro de las diferentes disciplinas en humanidades, son un campo de conocimiento al que el arqueólogo, historiador del arte o conservador pueden acceder y comprender de forma asequible siendo fácil de transmitir desde el punto de vista divulgativo por su gran fuerza visual. En este sentido es una técnica perfecta.

Finalmente queremos destacar, que dado el potencial de esta técnica, en la Universidad de Santiago de Compostela se está empezando a desarrollar varios campos de investigación en este sentido, centrándonos tanto en aspectos metodológicos como en el estudio de casos en diferentes niveles de la investigación. Entre estos estudios destacan los análisis tomográficos CBCT de cerámicas desde el Neolítico hasta el presente - tanto fragmentos como colecciones completas de recipientes enteros a modo de *screening* - como caracterización previa a la aplicación de otras técnicas analíticas y con aplicaciones complementarias en la clasificación de grupos en función de sus espectros de atenuación de los rayos X. Otros materiales que se están estudiando por esta técnica son diversas piezas de colecciones de historia natural (conchas, meteoritos, taxidermia) con diversas finalidades de investigación y conservación. Finalmente destacamos la aplicación de radiografía de gran formato en bienes culturales de

museos de bellas artes, en concreto en un óleo sobre lienzo barroco, que está aportando gran información sobre figuras ocultas bajo las actuales capas pictóricas y también otros ejemplos como el tomografiado TAC de una escultura medieval policromada y recubierta de pan de oro. Esperamos tener pronto resultados sobre estos trabajos y que con ellos podamos contribuir a la normalización del uso de estas técnicas.

## RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo se enmarca dentro del programa de actividades de difusión promovidas por la Rede de Infraestructuras de Apoio á Investigación e ó Desenvolvemento Tecnolóxico (RIAIDT) de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) así como en dos proyectos del plan nacional español que son los siguientes: “Estudio del cambio social en el III y II milenios BC en el NW de la Península Iberica a partir de yacimientos de contexto mixto”. Plan Nacional de I+D+i (2012-2014). HAR2012-34029 (2012-PN188). Ministerio de Economía y competitividad. “Tecnología y producción de la cerámica medieval de Galicia” (MC-PTG). HAR2015-64441-P (Plan Nacional: Ministerio de Economía y Competitividad, Convocatorias 2015, Proyectos EXCELENCIA y Proyectos RETOS, Dirección General de Investigación Científica y Técnica, Subdirección General de Proyectos de Investigación), 2016-2019.

## NOTAS

(1)Estas otras técnicas tomográficas son: Angiografía por Tomografía Computarizada, Imagen de Difracción de Neutrones, Imagen de Resonancia Magnética Funcional, Imagen de Resonancia Magnética, Microscopía Confocal de Escaneo Láser, Microtomografía y Nanotomografía, Tomografía Computada, Tomografía Computada Cuantitativa, Tomografía Computada de Emisión de Fotones Únicos, Tomografía Computada Dinámica, Tomografía Crioelectrónica, Tomografía Cuántica, Tomografía de Capacitancia Eléctrica, Tomografía de Coherencia Óptica, Tomografía de Difracción Geofísica, Tomografía de Impedancia Eléctrica, Tomografía de Inducción Magnética, Tomografía de Infrarrojos, Tomografía de Neutrones, Tomografía de Ondas de Radio, Tomografía de Proceso, Tomografía de Proyección Óptica, Tomografía de Prueba Atómica, Tomografía de Rayos X, Tomografía de Resistencia Eléctrica, Tomografía de Resonancia Magnética Eléctrica, Tomografía Electrónica, Tomografía Fotoacústica, Tomografía Óptica asistida por Ultrasonido, Tomografía por Emisión de Positrones, Tomografía por Transmisión de Ultrasonido, Tomografía Sísmica, Tomografía Termoacústica, Gamagrafía.

(2)Publicaciones de radiografía digital y Tomografía Computerizada, con especial énfasis en Tomografía Computerizada de Haz de Cono (Cone Beam Computerized Tomography CBCT) se pueden encontrar en las siguientes revistas: American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics; Clinical Oral Implants Research; Dental Implantology Update; Dentomaxilofacial Radiology; International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery; Journal of Computed Tomography; Journal of Cardiovascular Computed Tomography; The International Journal of Cardiovascular Imaging; European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging; Skeletal Radiology; Molecular Imaging and biology; Journal of the American Dental Association; Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology y Endodontics; Orthodontics and Craniofacial Research; Radiology; X-Ray Computed Tomography in Biomedical Engineering.

(3) Ver varios ejemplos de estas imágenes en:

<URL:<https://www.google.es/search?q=NATIONAL+GEOGRAPHIC+EGIPTO+Y+MOMIFICACION+C3%93N+DE+ANIMALES+COCODRILO&tbm=isch&imgil=HxwinG2txIKVrM%253A%253BUUign2L5aeX>

[7yM%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.nationalgeographic.com.es%25252Fhistoria%25252Fgrandes-reportajes%25252Fmomias-de-animales-del-antiguo-egipto\\_611&source=iu&pf=m&fir=HxwinG2txIKVrM%253A%252CUUign2L5aeX7yM%252C\\_&usg=\\_\\_Bjtswzs4OntPqOyt62z8GGujMKo%3D&biw=1280&bih=890&ved=0ahUKEwj-0Z6kt5DWAhXlcBoKHZQmD5wQyicINw&ei=ttivWf6elsjhaZTNvOAJ#imgrc=HxwinG2txIKVrM](http://www.nationalgeographic.com.es/historia/25252Fgrandes-reportajes/25252Fmomias-de-animales-del-antiguo-egipto_611&source=iu&pf=m&fir=HxwinG2txIKVrM%253A%252CUUign2L5aeX7yM%252C_&usg=__Bjtswzs4OntPqOyt62z8GGujMKo%3D&biw=1280&bih=890&ved=0ahUKEwj-0Z6kt5DWAhXlcBoKHZQmD5wQyicINw&ei=ttivWf6elsjhaZTNvOAJ#imgrc=HxwinG2txIKVrM) y en <http://arqueologiaenred.paleorama.es/2016/11/gran-cocodrilo-momificado-contiene.html>>

## BIBLIOGRAFÍA

ABEL, R. L. [et. al.] - Digital preservation and dissemination of ancient lithic technology with modern micro-CT. **Computers & Graphics**. ISSN 0097-8493. Vol.35, 2011, p. 878-884.

ALBA, L.; JOVER DE CELIS, M. - Niños jugando a los dados de Pedro Núñez de Villavicencio. Historia de una obra a través de su radiografía. **GE-conservación**. ISSN 1989-8568. Vol. 0, 2009, p. 47-61.

ANDERSON, T.; FELL, C. - Analysis of roman cremation vessels by computerized tomography. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 22, nº 5 (1995), p. 609-617.

ANTELO, T. [et. al.] - Un espacio para lo invisible. In PROUS, S.; DEL EGIDO, M. (compil.). **La Ciencia y el Arte. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico**. Madrid: Ministerio de Cultura. Instituto del Patrimonio Histórico Español, 2008. ISBN 978-84-8181-359-3. p. 25-38.

APPLBAUM, N.; APPLBAUM, Y. H. - The use of medical Computed Tomography (CT) Imagin in the study of ceramic and clay archaeological artifacts from the Ancient Near East. In UDA, M.; DEMORTIER, G.; NAKAI, I. (ed. lit.). **X-rays for Archaeology**. Dordrecht: Springer, 2005. ISBN 978-1-4020-3580-7. p. 231-245.

APPOLONI, C. R. [et. al.] - Characterization of porous microstructure by x-ray microtomography. **X-Ray Spectrometry**. ISSN 1097-4539. Vol. 31, 2002, p. 124-127.

APPOLONI, C. R. [et. al.] - Ceramic foams porous microstructure characterization by X-ray Microtomography. **Materials Research**. ISSN 1980-5373. Vol. 7(4), 2004, p. 557-564.

BARBERINI, V. [et. al.] - Multi-analytical characterization of archaeological ceramics. A case study from the Sforza Castle (Milano, Italy). **Geophysical Research Abstracts**. ISSN 1607-7962. Vol. 11, 2009, p. 7970-7971.

BARBIER, A. [et. al.] - The visualization and evaluation of bone architecture in the rat using three-dimensional X-Ray microcomputed tomography. **Journal of Bone and Mineral Metabolism**. ISSN 1435-5604. Vol. 17, 1999, p. 37-44.

BARRIO, N.; MARTE, F. - Estudio material de la obra "Chacareros" de Antonio Berni. Problemáticas de un soporte atípico. **GE-conservación**. ISSN 1989-8568. Vol. 1, 2010, p. 235-257.

BERDONDINI, A. [et. al.] - The successful use of Computed Tomography in the Study of archaeological finds. In TURBANTI-MEMMI (ed. lit.) **Proceedings of the 37<sup>th</sup> International Symposium on Archaeometry**. Berlin: Springer-Verlag, 2011. ISBN 978-3-642-14677-0. Part 10, p. 575-578.

BERG, I. - Looking through pots: recent advances in ceramics X-radiography. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 5, 2008, p. 1177-1188.

BERNARDINI, F. [et. al.] - Serpentine shaft-holed axes in the Caput Adriae: Preliminary results and perspectives based on X-ray Computerized Microtomography. In MONTAGNARI KOKEJL, M.; BUDINICH, M.; TUNIZ, C. (ed. lit.) **Science for Cultural Heritage. Technological Innovation a Case Studies in Marine and Land Archaeology on the Adriatic Region and Inland. VII International Conference on Science, Arts and Culture**. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2010. ISBN 978-981-4307-06-2, p. 226-237.

BUDINICH, M.; TUNIZ, C. (ed. lit.) - **Science for Cultural Heritage. Technological Innovation a Case Studies in Marine and Land Archaeology on the Adriatic Region and Inland. VII International Conference on Science, Arts and Culture**. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2010. ISBN 978-981-4307-06-2, p. 226-237.

BIRD, M. I. [et. al.] - X-ray microtomographic imaging of charcoal. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 10, 2008, p. 2698-2706.

BLANCO, R. [et. al.] - El despoblamiento de A Pousada: La formación de una aldea rural en la Alta Edad Media. In M. P. PRIETO-MARTÍNEZ; F. CRIADO-BOADO (compil.) **Reconstruyendo la historia de la comarca del Ulla-Deza (Galicia, España). Escenarios arqueológicos del pasado**. Santiago de Compostela: Traballos de Arqueoloxía e Patrimonio. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2010. ISBN 978-84-00-09134-7. Vol. 41, p. 111-120.

BONADIES, S. D. - Tomography of Ancient Bronzes. 2007. In SCOTT, D. A.; PODANY, J. Y CONSIDINE, B. B. (ed. lit.) **Ancient & Historic Metals. Conservation and Scientific Research. Proceedings of a Symposium organized by the J. Paul Getty Museum and the Getty Conservation Institute. November 1991**. Singapore: The J. Paul Getty Trust: 2007. ISBN 0-89236-231-6, p. 75-84.

BONOGOFISKY, M. - Reassessing “dental Evulsion” in Neolithic plastered skulls from the Levant through the use of Computed Tomography, Direct Observation and Photographs. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 29, nº 9, 2002, p. 959-964.

BOUZAKIS, K.-D. [et. al.] - An investigations of ceramic forming method using Reverse Engineering Techniques: The case of Oinochoai from Dion, Macedonia, Greece. **Journal of Archaeological Method Theory**. ISSN 1072-5369. Vol. 18, 2011, p. 111-124.

BOUZAKIS, K.-D. [et. al.] - Design and manufacturing aspects of a vaginal speculum of antiquity, as investigated by computer tomographies. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 3, 2008, p. 633-642.

BROWNE, J. A.; KOSHY, M.; STANLEY, J. H. - On the application of discrete tomography to CT-assisted engineering and design. **International Journal of Imaging Systems and Technology**. ISSN 1098-1098. Vol. 9, nº 2-3, 1998, p. 78-84.

BUTLER, S. - X-radiography of archaeological soil and sediment profiles. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 19, nº 2, 1992, p. 151-161.

CARLSON, K. J.; PICKERING, T. R. - Shape-adjusted bone mineral density measurements in baboons: other factors explain primate skeletal element representation at Swartkans. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 31, nº 5, 2004, p. 577-583.

CARLSSON, C. A.; MATSCHEKO, G.; SPANNE, P. - Prospects for microcomputerized-tomography using synchrotron radiation. **Biological Trace Element Research**. ISSN 0163-4984. Vol. 13, nº 1, 1987, p. 209-217.

CARR, C. - Advances in ceramic radiography and analysis: applications and potentials. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 17, 1990, p. 13-14.

CARR, C.; EARLE B.; RIDDICK, JR. - Advances in ceramic radiography and analysis: Laboratory methods. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 17, nº 1, 1990, p. 35-66.

CARRETERO DÍAZ, J. M. [et. al.] - La tomografía axial computerizada (TAC) y su utilizad para el estudio, conservación y difusión del Patrimonio Paleontológico. Algunos ejemplos de la Sierra de Atapuerca. In DEL EGIDO, M. y JUANES, D. (compil.) **La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservacion del Patrimonio Histórico**. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica, 2010. ISBN 978-84-8181-461-3, p. 196-204.

CASALI, F. [et. al.] - New X-ray digital radiography and Computed Tomography for cultural heritage. In MONTAGNARI KOKELJ, M.; BUDINICH, M.; TUNIZ, C. (ed. lit.) **Science for Cultural Heritage. Technological Innovation a Case Studies in Marine and Land Archaeology on the Adriatic Region and Inland. VII International Conference on Science, Arts and Culture**. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2010. ISBN 978-981-4307-06-2. p. 226-237.

CASALI, F. [et. al.] - X-ray computed tomography for damage assessment of cultural heritage assets. In MAZZOLANI (ed. lit.). **Protection of Historical Buildings. Proceedings of the International Conference on Protection of Historical Buildings, PROHITECH 09**. London: Taylor y Francis Group, 2009. ISBN 978-0-415-55804-4. Vol. 1, p. 847-851.

CENTRO NACIONAL DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE CHILE [En línea, 2017]. **Tomografía Dental se aplica en el ámbito de la conservación-restauración**. [Consultado a 20 de Julio de 2017].

CESÁREO, R. [et. al.] - X-ray Transmission Tomography for the study of works of art. In PIACENTINI, M. y SCIUTI, S. (ed. lit.) **Archaeometry in Europe in the third Millenium**. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 2002. ISBN: 88-218-0880-07, p. 222-225.

CHENINN, D. L. - Tomografía dinámica de haz cónico en el tratamiento ortodóncico. **Maxilaris**. ISSN 1139-1626. Vol. 13, Nº 133, 2010, p. 102-110.

DE LUCA, S.; ALEMÁN, I. et al. - Age estimation by tooth/pulp ratio in canines by peri-apical X-rays: reliabiliy in age determination of Spanish and Italian medieval skeletal remains. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 37, nº 12, 2010, p. 3048-3058.

DENHAM, T. [et. al.] - Contiguous multy-proxy analyses (x-radiography, diatom, pollen, an microcharcoal) of Holocene archaeological features at Kuk Swamp, Upper Wahgi Valley, Papua New Guinea. **Geoarchaeology**. ISSN 1520-6548. Vol. 24, nº 6, 2009, p. 715-742.

DOBNEY, K.; BROTHWELL, D. - A method for evaluating the amount of dental calculus on teeth from archaeological sites. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 14, nº 4, 1987, p. 343-351.

DOMETT, K. M.; O`REILLY, D. J. W.; BUCKLEY, H. R. - Bioarchaeological evidence for conflict in Iron Age north-west Camboia. **Antiquity**. ISSN 1745-1744. Vol. 85, nº 328, 2011, p. 441-458.

DUGMORE, A. J.; NEWTON, A. J. - Thin tephra layers in peat revealed by X-radiography. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 19, nº 2, 1992, p. 163-170.

EBEL, D.; RIVERS M. L. - Meteorite 3-D synchrotron microtomography: Methods and applications. **Meteoritics & Planetary Science**. ISSN 1945-5100. Vol. 42, nº 9, 2007, p. 1627-1646.

ELIYAHU, M. [et. al.] - The iron anchors from the Tantura F shipwreck: typological and metallurgical analyses. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 38, nº 2, 2011, p. 233-245.

GONZALEZ-REIMERS, E. [et. al.] - Quantitative computerized tomography for the diagnosis of osteopenia in prehistoric skeletal remains. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 34, nº 4, 2007, p. 554-561.

GOSTNER, P. [et. al.] - New radiological insights into the life and death of the Tyrolean Iceman. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 38, 2011, p. 3425-3431.

GOSTNER, P.; VIGL, E. E. - INSIGHT: Report of radiological-forensic findings on the Iceman. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 29, nº 3, 2002, p. 323-326.

GRABNER, M.; SALABERGER, D.; OKOCHI, T. - The Need of Hig Resolution  $\mu$ -X-ray CT in Dendrochronology and in Wood Identification. In **Proceedings of 6th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis**. Salzburg: IEEE, 2009. ISBN 9781424456499, p. 349-352.

GRECO, M. K. [et. al.] - Description of an ancient social bee trapped in amber using diagnostic radioentomology. **Insectes sociaux**. ISSN 1420-9098. Vol. 58, nº 4, 2011, p. 487-494.

GREENE, A. [et. al.] - The digital radiography of archaeological pottery: Program and protocols for the analysis of production. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 78, 2017, p. 120-133.

GREENE, A.; HARTLEY, C. - From analog to digital: protocols and program for a systematic digital radiography of archaeological pottery. In KREITER, A. [et al.] **Vessels: Inside and outside. EMAC`07. 9th European Meeting on Ancient Ceramics. 24-27 October 2007. Hungarian National Museum, Budapest, Hungary**. ISBN 9637061673. Budapest: Hungarian National Museum, 2009, p. 5-14.

GRIESHABER, B. M. [et. al.] - A pilot study into the effects of X-ray and computed tomography exposure on the amplification of DNA from bone. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 3, 2008, p. 681-687.

GRIM, D. M.; ALLISON, J. - Laser Desorption Mass Spectrometry as a tool for the analysis of colorants: The identification of pigments used in illuminated manuscripts. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 46, nº 2, 2004, p. 283-299.

GRIUFFA, V. [et. al.] - Embalming methods and plants in Renaissance Italy: two artificial mummies from Siena (central Italy). **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 38, nº 8, 2011, p. 1949-1956.

HARVIG, L.; NYNNERUP, N.; AMSGAARD EBSEN, J. - Computed tomography and computed radiography of Late Bronze Age cremation urns from Denmark: an interdisciplinary attempt to develop methods applied in bioarchaeological cremation research. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 54, nº 2, 2012, p. 369-387.

HERSHKOVITZ, I. [et. al.] - Remedy for an 8500 year-old plastered human skull from Kfar Hahoresh, Israel. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 22, nº 6, 1995, p. 779-788.

HIRATA, K. - Radiographic findings in ancient egyptian mummies. In UDA, M.; DEMORTIER, G. y NAKAI, I. (ed. lit.). **X-rays for Archaeology**. Dordrecht: Springer, 2005. ISBN 978-1-4020-3580-7. p. 231-245.

HORWITZ, L. K.; SMITH, P. - A radiographic study of the extend of variation in cortical bone thickness in soay sheep. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 17, nº 6, 1990, p. 655-664.

HUNTER, F. J. [et. al.] - The scientific identification of archaeological Jet-Like artefacts. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 35, nº 1, 1993, p. 69-89.

HUPPERTZ, A. [et. al.] - Nondestructive Insights into composition of the Sculpture of Egyptian Queen Nefertiti with CT. **Radiology**. ISSN 1527-1315. Vol. 251, nº 1, 2009, p. 233-240.

JACOBS, P.; SEVENS, E.; KUNNEN, M. - Principles of computerized X-ray tomography and applications to building materials. **Science of the Total Environment**. ISSN 0048-9697. Vol. 167, 1985, p. 161-170.

JUANES, D. - La tomografía axial computerizada. Estudio de escultura de madera. In: DEL EGIDO, M. y JUANES, D. (compil.) **La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservacion del Patrimonio Histórico**. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica, 2010. ISBN 978-84-8181-461-3, p. 196-204.

JUANES, D.; JUÁREZ, P. - Aplicación de los estudios TAC a la recuperación de la talla original y la antigua policromía de la Virgen de las Batallas. In DEL EGIDO, M.; JUANES, D.; DIEGO, C.; DOMINGO, M.; BUESO, M.; VERGEL, M. (compil.) **La Ciencia y el Arte III. Ciencias Experimentales y conservacion del patrimonio**. Ministerio de Cultura, Secretaría General Técnica, 2011. ISBN NIPO 551-11-103-6, p. 239-252.

KLAUS, H. D. [et. al.] - Tuberculosis on the north coast of Peru: skeletal and molecular paleopathology of late pre-Hispanic and postcontact mycobacterial disease. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 37, nº 10, 2010, p. 2587-2597.

KONDO, J. - The radiographic examinations of the "Guardian Statues" from the tomb of Tutankhamen. In UDA, M.; DEMORTIER, G.; NAKAI, I. (ed. lit.) - **X-rays for Archaeology**. Dordrecht: Springer, 2005. ISBN 978-1-4020-3580-7, p. 231-245.

KOURIS, K. [et. al.] - Effect of constituent elements in wood on X-ray densitometry measurements. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 23, nº 1, 1981, p. 95-101.

KREUTZER, L. A. - Bison and deer bone mineral densities: Comparisons and implications for the interpretation of archaeological faunas. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 19, nº 3, 1992, p. 271-294.

KYLE, J. R.; MOTE, A. S.; KETCHAM, R. A. - High resolution X-ray computed tomography studies of Grasberg porphyry Cu-Au ores, Papua, Indonesia. **Mineralium Deposita**. ISSN 0026-4598. Vol. 43, nº 5, 2008, p. 519-532.

LAM, Y. M. [et. al.] - Bone density and long bone representation in Archaeological Faunas: comparing results from CT and Photon Densitometry. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 25, nº 6, 1998, p. 559-570.

LAM, Y. M. [et. al.] - Bone density studies in zooarchaeology. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. 30, nº 12, 2003, p. 1701-1708.

LANTES-SUÁREZ, O. - Estudio arqueométrico de la cerámica. Estudio de los vidriados. In PRIETO MARTÍNEZ, M. P. (compil.) **Estudio de la cultura material del yacimiento de A Pousada. Memoria Arqueológica**. Accesível no Servizo de Patrimonio. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela. 2012, p. 36-70.

LANTES-SUÁREZ, O.; DOVAL GALÁN, J. F.; PRIETO MARTÍNEZ, M. P. - La alfarería tradicional de Buño. Una aproximación desde la arqueología y la arqueometría. **Gallaecia**. ISSN 2445-3927. nº 35, (en prensa).

LENGUAS, A. L. [et. al.] – Tomografía computerizada de haz cónico. Aplicaciones clínicas en odontología; comparación con otras técnicas. **Científica Dental**. ISSN 1697-641X. Vol. 7, nº 2, 2010, p. 147-159.

LLÁCER MARTOS, S. [et. al.] – Aplicaciones de la tomografía computerizada en paleontología. In ROYO-TORRES, R.; VERDÚ; F. J.; ALCALÁ, L. (compil.) - XXX Jornadas de Paleontología de la Sociedad Española de Paleontología. **Fundamental**. Teruel: Fundación conjunto Paleontológico de Teruel – Dinópolis. Vol. 24, 2014. ISBN 978-84-938173-7-4, p. 1-282.

LÓPEZ, M. A.; CARAMÉS, L. V.; ACEVEDO, V. J. - El uso de los rayos X en al conservación de cerámica arqueológica. Casos de estudio en Quebrada de Humahuaca. República Argentina. **GE-conservación**. ISSN 1989-8568. Vol 1, 2010, p. 221-234.

LÓPEZ-POLÍN, L. [et. al.] - Pleistocene human remains and conservation treatments: the case of a mandible from Atapuerca (Spain). **Journal of Human Evolution**. ISSN 0047-2484. Vol. 54, nº 5, 2008, p. 539-545.

MARA, H. - Pottery Plotted by Laser-3D Adquisition for documentation and analysis of simetry of ancient ceramics. In WAGNER, G. A. [et al.] **Natural Science in Archaeology: Part V. New Tecnologies for Archaeology**. [S.I.]: Springer, 2009. ISBN: 1613-9712, p. 379-390.

MARA, H.; SABLATNIG, R. - Determination of ancient manufacturing techniques if ceramics by 3D stimation. *Lecture Notes in Computer Science*. ISSN 0302-9743. Vol. 4270, 2006, p. 349-357.

MATTHIESEN, H.; SALOMONSEN, E.; SØRENSEN, B. - The use of radiography and GIS to assess the deterioration of archaeological iron objects from a water logged environment. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 31, nº 10, 2004, p. 1451-1461.

MENA, A. [et. al.] - A novel sedimentological method based on CT-scanning: Use for tomographic characterization of the Galicia Interior Basin. **Sedimentary Geogy**. ISSN 0037-0738. Vol. 321, 2015, p. 123-138.

MINOZZI, S. [et. al.] - An investigation of Etruscan cremations by Computed Tomography (CT). **Antiquity**. ISSN 1745-1744. Vol. 84, nº 232, 2010, p. 195-201.

MIZUNO, S.; TORIZU, R.; SUGIYAMA, J. - Wood identification of a wooden mask using synchrotron X-ray microtomography. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 37, nº 11, 2010, p. 2842-2845.

MORIGI, M. P. [et. al.] - CT investigation of two paintings on Wood tables by Gentile da Fabriano. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**. ISSN 0168-9002. Vol. 580, 2007, p. 735-738.

MORIGI, M. P. [et. al.] - Application of X-ray Computed Tomography to Cultural Heritage diagnostics. **Applied Physics A**. ISSN 0947-8396. Vol. 100, 2010, p. 653-661.

NATTERER, F. - Fourier reconstruction in Tomography. **Numerische Mathematik**. ISSN 0945-3245. Vol. 47, nº 3, 1985, p. 343-353.

NATTERER, F.; RITMAN, E. L. - Past and future directions in x-ray computed tomography (CT). **International Journal of Imaging Systems and Technology**. ISSN 1098-1098. Vol. 12, nº 4, 2002, p. 175-187.

NEDDEN, D. Z. [et. al.] - New findings of the Tyrolean "Ice Man": Archaeological and CT-Body analysis suggests personal disaster before death. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 21, nº 6, 1994, p. 809-818.

NOBUYUKI, K. - Analytical study of paintings by X-ray Radiography and Spectroscopy. In: UDA, M.; DEMORTIER, G. y NAKAI, I. (ed. lit.). **X-rays for Archaeology**. Dordrecht: Springer, 2005. ISBN 978-1-4020-3580-7. p. 231-245.

NOVECOSKY, B.; POPKIN, P. R. W. - Canidae volume bone mineral density values: an application to sites in western Canada. **Journal of archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 32, nº 11, 2005, p. 1677-1690.

O'CONNOR, S. [et. al.] - Exceptional preservation of a prehistoric human brain from Heslington, Yorkshire, UK. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 38, nº 7, 2011, p. 1641-1654.

OKOCHI, T. [et. al.] - Nondestructive tree-ring measurements for Japanese oak and Japanese beech using micro-focus X-ray computed tomography. **Dendrochronologia**. ISSN 1125-7865. Vol. 24, 2007, p. 155-164.

ORON, A. - The Athlit ram bronze casting reconsidered: scientific and technical re-examination. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 33, nº 1, 2006, p. 63-76.

ÖZBEK, M. - Remodeled human skulls in Kösk Höyük (Neolithic age, Anatolia): a new appraisal in view of recent discoveries. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 36, nº 2, 2009, p. 279-386.

PAREDES, U. M. [et. al.] - "Micro-CT X-rays do not fragment DNA in preserved bird skins". **Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research**. ISSN 1439-0469. Vol. 50, nº 3, 2012, p. 247-250.

PERNTER, P. [et. al.] - Radiological proof for the Iceman`s cause of death (ca. 5`300 BP). **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 34, nº 11, 2007, p. 1784-1786.

PIERRET, A.; MORAN, C. J.; BRESSON, L.-M. - Calibration and visualization of wall-thickness and porosity distributions of ceramics using x-radiography and image processing. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 23, nº 3, 1996, p. 419-428.

POLLACK, H. C.; BRIDGMAN, C. F. - X-Rays in Philately. **Radiology**. ISSN 1527-1315. Vol. 62, 1954, p. 259-261.

PRICE, J. L.; MOLLESON, T. I. - A radiographic examination of the left temporal bone of Kabwe man, broken hill mine, Zambia. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 1, nº 3, 1974, p. 285-289.

PRIETO-MARTÍNEZ, M. P. - Poder y estrategias de apropiación del espacio en las comunidades campaniformes, dos casos de estudio: el Dolmen de Forno dos Mouros y el Túmulo 3 de Alto de San Cosme. In PRIETO-MARTÍNEZ, M. P.; SALANOVA, L. (compil) **Las Comunidades Campaniformes en Galicia. Cambios sociales en el III y II Milenios BC en el NW de la Península Ibérica**. Pontevedra: Deputación de Pontevedra, 2011. ISBN 978-84-8457-365-4. Cap. 9, p. 85-94.

PRIETO-MARTÍNEZ, M. P. [et. al.] - Cerámica de Lujo medieval en dos castillos de la mitra compostelana. In JORNADAS INTERNACIONALES, 3ª - **Evolución de los espacios urbanos y sus territorios en el noroeste de la península ibérica**. Astorga, Casa-Museo Leopoldo Panero (Astorga, León), 21 y 22 de Abril de 2016. Poster (en prensa).

PRIETO-MARTÍNEZ, M. P.; LANTES-SUÁREZ, O.; MARTÍNEZ-CORTIZAS, A. - O Campaniforme Cordado de Forno dos Mouros (Toques, A Coruña). **Cuaderno de Estudios Gallegos**. ISSN 0210-847X. Vol. 55, nº 121, 2008, p. 31-51.

REICHE, I. [et. al.] - Synchrotron radiation and laboratory micro X-ray computed tomography-useful tools for the material identification of prehistoric objects made of ivory, bone or antler. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**. ISSN 0267-9477. Vol. 24, 2011, p. 1802-1812.

REIMERS, P. [et. al.] - A. Dendrochronology by means of x-ray computed tomography (CT). In MANINATIS, Y. (ed. lit.) **Archaeometry: proceedings of the 25<sup>th</sup> International Symposium**. Amsterdam: Elsevier, 1989. ISBN 0-444-87333-3. p. 121-125.

RIZESCU, C. [et. al.] - Complex Analysis of the "Cannon of Giurgiu" by Computerized Tomography with <sup>192</sup>Ir. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403 29, nº 3, 2002, p. 267-275.

ROSSI, M.; CASALI, F. - 3D Computed Tomography for archaeometry. In PIACENTINI, M. y SCIUTI, S. (ed. lit.) **Archaeometry in Europe in the third Millenium**. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 2002a. ISBN: 88-218-0880-07, p. 222-225.

ROSSI, M.; CASSALI, F. - X-ray Digital Radiography for investigation on cultural heritage. In PIACENTINI, M. y SCIUTI, S. (ed. lit.) **Archaeometry in Europe in the third Millenium**. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 2002b. ISBN: 88-218-0880-07, p. 227-231.

ROVNER, I.; GYULAI, F. - Computer-Assisted Morphometry: A new method for assessing and distinguishing morphological variation in wild and domestic seed populations. **Economic Botany**. ISSN 0013-0001. Vol. 61, nº 2, 2007, p. 154-172.

RYAN, T. M.; MILNER, G. R. - Osteological applications of high-resolution computed tomography: a prehistoric arrow injury. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 33, nº 6, 2006, p. 871-879.

RYE, O. S. - Pottery manufacturing techniques: X-ray studies. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 19, nº 2, 1977, p. 205-211.

SARRIÓ MARTÍN, M. F. – **Aplicación de la tomografía computerizada médica para el análisis en escultura policromada en madera**. [Tesis doctoral inédita]. Universitat Politècnica de València. doi:10.4995/Thesis/10251/61986, 2016.

SCOTT, D. A. - The application of Scanning X-ray Fluorescence Microanalysis in the examination of cultural materials. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 43, nº 4, 2001, p. 475-482.

SEGUIN, F. H. - High-resolution computed tomography and digital radiography of archaeological and art-historical objects. In VANDIVER, P. B.; DRUZIK, J. y WHEELER, G. S. (ed. lit.) **Materials Issues in Art and Archaeology II**. Pittsburgh: Materials Research Society, 1990. ISBN 9781605112961, p. 63-73.

SHANG, H. [et. al.] - Neurocranial abnormalities of the Goungwangling Homo erectus from Lantian. China. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 9, 2008, p. 2589-2593.

SIMONOV, E. N. - Physical Problems of Medical Computer X-Ray Tomography. **Biomedical Engineering**. ISSN 0006-3398. Vol. 38, nº 4, 2004, p. 170-175.

STOUT, D. [et. al.] - Stone tool-making and brain activation: Position Emission Tomography (PET) studies. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 27, nº 12, 2000, p. 1215-1223.

THESCHNER, M. - Histomorphometric analysis of bone tissue from a Neolithic skeleton. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 34, nº 7, 2007, p. 1130-1134.

TOUT, R. E.; GILBOY, W. B.; CLARK, A. J. - The use of computerized x-ray tomography for the non-destructive examination of archaeological objects. In **Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Symposium on Archaeometry and Archaeological Prospection, Bonn, 14-17 March 1978**. Colonia: Rheinland-Verlag GmbH, 1980. ISBN 978-3792704295, p. 608-616.

TUGRUL, A. B.; BELLİ, O. - Cuneiform inscriptions made visible on bronze plates from the Upper Anzaf Fortress, Turkey. **Antiquity**. ISSN 1745-1744. Vol. 68, nº 259, 1994, p. 347-349.

TUNIZ, C. [et. al.] - Did Neanderthals play music? X-Ray Computed Micro-Tomography of the Divje Babe 'Flute'. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 54, nº. 3, 2011, p. 581-590.

VAINBERG, E. I.; KALINCHEV, A.; SVIRIDOVA, Z. I. - Comparing the effectiveness of radiography and x-ray computer tomography for controlling low-density ceramics. **Refractories and Industrial Ceramics**. ISSN 1083-4877. Vol. 26, nº 3-4, 1985, p. 199-202.

VAN DER LINDEN, V. [et. al.] - Analysis of microcomputed tomography images: a look inside historic enamelled metal objects. **Applied Physics A**. ISSN 0947-8396. Vol. 98, 2010, p. 385-392.

VAN TIGGELEN, R. - Ancient Egypt and radiology, a future for the past!. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**. ISSN 0168-583X. Vol. 226, 2004, p. 10-14.

VENIALE, F.; SETTI, M.; LODOLA, S. - Diagnóstico del deterioro de la piedra en el patrimonio construido. Datos y perspectivas. **Materiales de Construcción**. ISSN 0465-2746. Vol. 58, nº289-290, 2008, p. 11-32.

YANG, M.-L. [et. al.] - The use of Optical Coherence Tomography for monitoring the subsurface morphologies of arcaic Jades. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 46, nº 2, 2004, p. 171-182.

YANG, M.-L. [et. al.] - Using Optical Coherence Tomography to examine the subsurface morphology of Chinese glazes. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 51, nº 5, 2009a, p. 808-821.

YANG, Y. [et. al.] - Application of Micro-CT: 3D Reconstruction of Tool Marks on an Ancient Stone Bead and its implication for Jade drilling techniques. In TURBANTI-MEMMI (ed. lit.). **Proceedings of the 37<sup>th</sup> International Symposium on Archaeometry**. Berlin: Springer-Verlag, 2011. ISBN 978-3-642-14677-0. Part 10, p. 575-578.

YANG, Y. [et. al.] - Application of micro-CT: a new method for stone drilling research. **Microscopy Research Technique**. ISSN 1097-0029. Vol. 72, nº 4, 2009b, p. 343-346.

YODER, D. T. - The use of "soft" X-ray radiography in determining hidden construction characteristics in fiber sandals. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 2, 2008, p. 316-321.

## DOCUMENTOS ELETRÓNICOS

IAPH - **Cristo de las Penas Almensilla**. [Em linha]. Sevilla. [Consultado a 10 de Marzo de 2017]. Disponible en WWW:<URL: [http://www.iaph.es/web/canales/conservacion-y-restauracion/catalogo-de-obras-restauradas/contenido/cristo\\_de\\_las\\_penas.almensilla.html](http://www.iaph.es/web/canales/conservacion-y-restauracion/catalogo-de-obras-restauradas/contenido/cristo_de_las_penas.almensilla.html)>.

IVCRBC. Ecce Homo. c+r - **Escultura policromada**. [Em linha]. [Consultado a 20 de Julio de 2017]. Disponible en WWW:<URL: [http://www.ivcr.es/media/descargas/restauracion\\_ivcr\\_ecce\\_homo\\_olleria\\_valencia\\_w.pdf](http://www.ivcr.es/media/descargas/restauracion_ivcr_ecce_homo_olleria_valencia_w.pdf)>.

