

Aplicaciones tomográficas en ejemplares del Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela (España)

Tomographic applications in specimens of the Natural History Museum of the University of Santiago de Compostela (Spain)

OSCAR LANTES SUÁREZ

*Unidade de Arqueometría, RIAIDT, Universidade de Santiago de Compostela
Edificio CACTUS, s/n, Campus Vida, 15782 Santiago de Compostela
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1987-9759>
oscar.lantes@usc.es*

(Recibido: 17/09/2019; Aceptado: 22/09/2019; Publicado on-line: 11/10/2019)

Resumen

La tomografía de rayos X es una técnica que se desarrolló a mediados del siglo XX con aplicaciones básicamente médicas que después se extendieron al ámbito industrial, incluyendo las museísticas. En este sentido se empezó a utilizar en el campo de la arqueología y el patrimonio y también destaca su uso en el ámbito de la Historia Natural, en especial en el mundo de la paleontología para analizar fósiles. En este trabajo presentamos varios ejemplos de aplicación de esta técnica en diversos ejemplares del Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela analizados con recursos tomográficos de la propia Universidad. Estos ejemplares son fósiles de mamut, meteoritos, piezas de taxidermia y conchas de gasterópodos. La finalidad del estudio es presentar la versatilidad de la técnica en cuanto a los objetos que pueden ser tomografiados y contribuir a expandir el uso de este método en piezas de museo con objetivos de conservación, investigación y divulgación.

Palabras clave: Tomografía de Haz de Cono, Fósiles, Meteoritos, Malacología, Taxidermia

Abstract

X-Ray Tomography is an analytical technique developed in the mid-twentieth century with a main application focused on medicine and then extended to the industry, including museums. In this sense, it begins to be use in the field of archaeology and heritage. It also highlights its use in the field of Natural History, especially in paleontology to analyze fossils. In this work, we present some examples of application in specimens of the Natural History Museum of the University of Santiago de Compostela, analyzed with the own tomographical resources of the University. These specimens are mammoth fossils, meteorites, taxidermy pieces and gastropods shells. The purpose of the study is to present the versatility of the technique in terms of objects that can be scanned and contribute to spanding the use of this technique in museum pieces with conservation, researching and divulgation objectives.

Keywords: Cone Bean Tomography, Fosils, Meteorits, Malacology, Taxidermy

INTRODUCCIÓN

Los rayos X fueron descubiertos en 1895 por Wilhelm Conrad Röntgen. Pocos años después, en 1914, Faber impulsó su uso como técnica de diag-

nóstico médico, apoyado incluso por Marie Curie (ANTELO *et al.*, 2008), naciendo así la radiografía. Se puede definir la radiografía como el resultado de la superposición de los rayos X en una placa fotográfica después de que hayan atravesado un

determinado objeto, produciendo un velado en diferente grado según la mayor o menor absorción de los rayos X por cada una de las partes del objeto. A principios del siglo XIX, el radiólogo Alessandro Vallebona propuso una variante de la técnica en la que podía evitar la superposición de las estructuras y se obtenía una imagen de un objeto “rodaja a rodaja”. Este incipiente método es el origen de la tomografía, posteriormente desarrollada por Godfrey Hounsfield en 1972 (SIMONOV, 2004). La tomografía se caracteriza porque, durante la exposición, la fuente de rayos X y el detector se desplazan de modo acoplado en direcciones opuestas provocando que las estructuras aparezcan nítidas o borrosas según se encuentren en el plano focal o fuera de él. A partir de una superposición de estas imágenes se puede reconstruir tridimensionalmente la morfología de cada una de las estructuras del objeto. La técnica tuvo un despegue exponencial gracias a la aparición de los ordenadores, ya que el proceso de reconstrucción se pudo acelerar y mejorar en calidad a través de la implementación de diferentes algoritmos matemáticos. Nace así, la Tomografía de rayos X Computerizada. Una vez reconstruida la imagen se puede visualizar como secciones o lonchas paralelas a los planos axial, coronal o sagital. Uno de los tipos de tomografía computerizada más conocida es la Tomografía Axial Computerizada (TAC) con un uso fundamentalmente médico. Otra variante, con la que se han analizado las muestras de este trabajo, es la Tomografía Computerizada de Haz de Cono (Cone Beam Computed Tomograph, CBCT), desarrollada a finales de los años 90 (LENGUAS *et al.*, 2010) y de amplio uso en odontología.

La tomografía siempre ha tenido un uso muy extendido en el campo de la salud, de hecho la gran mayoría de los equipamientos se encuentran asociados a hospitales. Sin embargo, por la versatilidad de la técnica, sus usos se han expandido a muchos otros campos, desde la industria, hasta la arqueología, el patrimonio o el mundo natural. En LANTES-SUÁREZ & PRIETO-MARTÍNEZ (2017a), se realiza una síntesis bibliográfica de gran parte de esas nuevas aplicaciones con finalidades científicas no clínicas. Algunos de esos trabajos que se pueden destacar por su singularidad o interés son los siguientes: BIRD *et al.* (2008); BONOGOFSKY

(2002); CARLSON & PICKERING (2004); GOSTNER *et al.* (2011); GRANBER *et al.* (2009); GRECO *et al.* (2011); HUISMAN *et al.* (2014); JUANES (2010); KLAUS (2010); KOURIS *et al.* (1981); KREUTZER (1992); LAM *et al.* (1998, 2003); LÓPEZ-POLÍN *et al.* (2008); MIZUNO *et al.* (2010); MORIGI *et al.* (2010); NATTERER & RITMAN (2002); O’CONNOR *et al.* (2011); OKOCHI *et al.* (2007); REICHE *et al.* (2011), VAINBERG *et al.* (1985); VAN DER LINDEN *et al.* (2010); YANG *et al.* (2011).

En el contexto de Galicia, no son muchas las experiencias realizadas en tomografía más allá del uso clínico clásico. Por citar algunas, se pueden destacar análisis tomográficos en CBCT en cerámica prehistórica, medieval, moderna y contemporánea, y en otros materiales arqueológicos como monedas, azulejos o esquirlas de sílex (LANTES-SUÁREZ & PRIETO-MARTÍNEZ 2017b), el análisis de testigos de sedimentos oceánicos (MENA *et al.*, 2012) y más recientemente, es singular el trabajo paleontológico realizado por PÉREZ RAMOSA *et al.* (2018) en el que analizan, entre otros restos, el cráneo de un oso cavernario utilizando un equipo TAC del Hospital Veterinario Rof Codina de Lugo.

Los objetivos que se plantean en este trabajo son mostrar los primeros análisis tomográficos efectuados sobre diversos especímenes del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad de Santiago de Compostela, tales como fósiles, meteoritos, piezas de taxidermia y conchas, para con ello contribuir a la caracterización de su estructura interna, mejorar su estado de conservación y promocionar el uso de esta técnica no destructiva y de fácil acceso, en colecciones museísticas de historia natural.

EJEMPLARES ANALIZADOS

Las piezas museísticas que se han incluido en este estudio son once, 3 fósiles (MAVER01, MAMOL01, MAMOL02), 2 meteoritos (MET01, MET02), 3 animales disecados (PAJ01, PAJ02, TITI01) y 3 conchas de gasterópodos (SILIQUARIA, BUSYCON, CONUS). La figura 1 contiene una selección de fotografías de las piezas y la tabla 1 sintetiza sus principales características, recopiladas en su mayoría a partir de las fichas de inventario del museo.

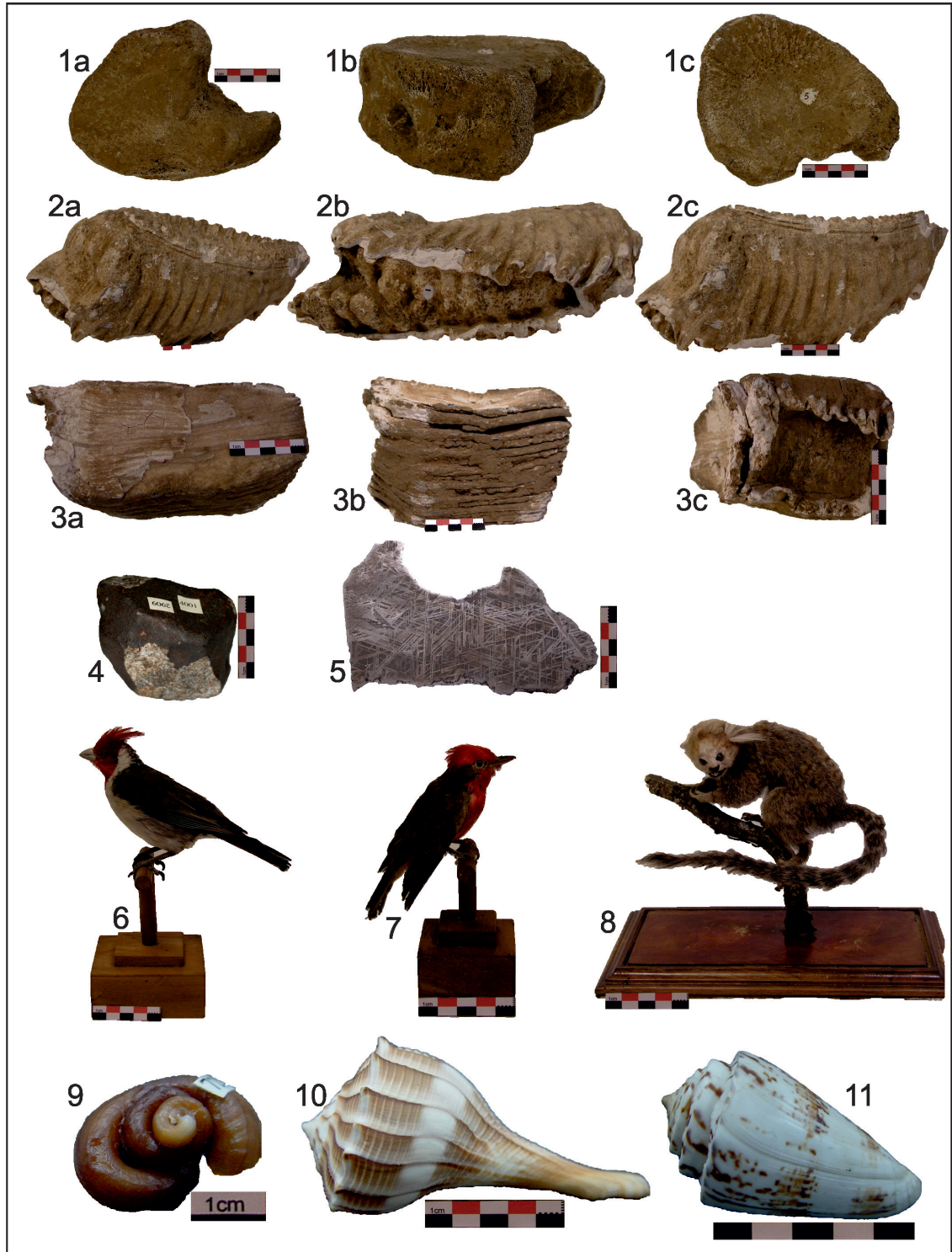


Figura 1. Fotografías de las piezas estudiadas: 1a-1c: Vértebra de Mamut (MAVER1); 2a-2c: molar de mamut (MAMOL1); 3a-3c: molar de mamut (MAMOL2); 4: meteorito condrita (MET01); 5: meteorito metálico (MET02); 6: *Paroaria coronata* (PAJ01); 7: *Pyrocephalus rubinus* (PAJ02); 8: *Callithrix jacchus* (TITI1); 9: *Siliquaria squamata* (SILIUARIA); 10: *Busycon* sp. (BUSYCON); 11: *Conus malacanus* (CONUS).

Figure 1. Photographs of the studied samples: 1a-1c: mammoth vertebra (MAVER1); 2a-2c: mammoth molar (MAMOL1); 3a-3c: mammoth molar (MAMOL2); 4: chondritic meteorite (MET01); 5: metal meteorite (MET02); 6: *Paroaria coronata* (PAJ01); 7: *Pyrocephalus rubinus* (PAJ02); 8: *Callithrix jacchus* (TITI1); 9: *Siliquaria squamata* (SILIUARIA); 10: *Busycon* sp. (BUSYCON); 11: *Conus malacanus* (CONUS).

Los fragmentos de fósiles pertenecen a un mamut que fue donado al MHN el año 1965 por Isidro Parga Pondal para la colección de Fósiles de Galicia (BUGALLO RODRÍGUEZ, 2003: 321-323). Cuatro años antes habían sido encontrados de manera fortuita por los trabajadores de la cantera de caliza de Buxán (O Incio, Lugo; Mapa geológico nº 124 de Sarria: MARTÍNEZ CATALÁN *et al.* 1980) dentro de un depósito de arcilla que rellenaba una grieta de la pared rocosa (BUGALLO RODRÍGUEZ, 1993; 2003: 321-323; IGLESIAS IGLESIAS, 1964; TORRE ENCISO, 1962). De esos fragmentos conservados en el museo, se han analizado 3: MAVER1, una vértebra incompleta con un agujero vertebral; MAMOL01, un molar inferior derecho completo; y MAMOL02, el primero de los siete fragmentos que se conservan del molar derecho.

La muestra MET01, es uno de los fragmentos del meteorito que cayó en Cangas de Onís en 1866 y del que se recuperaron un total de 34 kg. Fue donado al museo, en una fecha indeterminada, por D. León Salmeán, rector de la Universidad de Oviedo entre los años 1866 y 1884. El segundo meteorito analizado, MET02, es un fragmento del meteorito metálico de 81,2 kg que cayó en Carlton (Hamilton County, Texas, EEUU) en 1887 (THE MEREORITICAL SOCIETY, 2019). El museo adquiere esta pieza a la casa inglesa de material científico *Gregory, Bottley & Co., Mineralogists and Geologist* localizada en Church Street (Chelsea), dentro de una compra en el año 1940 de 205 ejemplares, “por ocho mil pesetas”, con cargo a los fondos de prácticas de las asignaturas de biología y geología. Ambos ejemplares pertenecían a la Colección “Viqueira” (BUGALLO RODRÍGUEZ, 2003; GARCÍA VARELA, 1928; IGLESIAS IGLESIAS, 1956; PÉREZ BUSTAMANTE & GONZÁLEZ GARCÍA-PAZ, 1934; SAMARTIN CORNES, 1982: 34).

Los animales naturalizados son dos aves y un tití. El ave PAJ01 es un cardenal común sudamericano cedido por la Comisión Protectora de la Biblioteca América. Este ejemplar procede de la primera remesa enviada por esta comisión en 1924 (A.U.S. Biblioteca América; BUGALLO RODRÍGUEZ, 1995, 2003: 194-207; SICK 1993: 610). El segundo pájaro, PAJ02 es un churrinche, otro paseriforme recogido en 1916 en Concepción, Uruguay. Es enviado por la Biblioteca América en el año 1930 procedente del Museo de Historia Natural de

Buenos Aires que lo remite a la Universidad de Santiago en carácter de canje (A.U.S. Biblioteca América; BUGALLO RODRÍGUEZ, 2003: 194-207; RIDGELY & GWYNNE, 1989: 305; SICK, 1993: 472). El tití común (TITI01) es originario de Brasil, pero el ejemplar es adquirido por la USC en una compra realizada en París en el año 1850 para completar la colección de “animales-tipo” del Gabinete de Zoología. Esta colección iniciada con la compra de los primeros ejemplares en el año 1945 supuso el germen de la posterior Sección de Zoología (BUGALLO RODRÍGUEZ, 2003: 148-174; BUGALLO RODRÍGUEZ & SISTO EDREIRA, 1996).

Las conchas de los géneros *Siliquaria* y *Conus* pertenecen a la colección malacológica “Morillo”. De *Siliquaria*, procedente de Cuba, existen cuatro ejemplares y se analizó el catalogado con el nº 4. *Busycon* fue recogida en Yucatán, México (BUGALLO RODRÍGUEZ, 2003: 192-194; OTERO SCHMITT, 1986: 127, 255). Finalmente, la última concha, *Conus*, procede de Rameswaram, Tamil Nadu, India y pertenece a la colección malacológica “Rolán”.

TECNICA DE ANÁLISIS

La técnica de análisis aplicada es Tomografía de Rayos X de Haz de Cono (CBCT). El equipo utilizado es un tomógrafo I-CAT con una fuente de 4 mA y 12 kV, caracterizado por tener un campo de exposición de 17 + 21 pulgadas, resolución máxima de 0,125 mm, y con admisión de peso máximo de objetos inanimados de 2 kg y diámetros máximos de 25 cm. Las muestras de este trabajo se tomografían completas sin realizar ningún tipo de tratamiento, procesado o manipulación, con un tiempo de exposición de 14,7 s. El software *icatVision* generó datos como ficheros DICOM posteriormente tratados con el software de acceso libre *RadiAnt DICOM Viewer*. Las imágenes tomográficas son imágenes bidimensionales que representan la atenuación de los rayos X y representan por tanto mapas de radiodensidad de las estructuras de un objeto sección a sección. El tomógrafo CBCT pertenece a la Unidad de Radiología de la Facultad de Medicina y Odontología y está accesible para la comunidad investigadora en usos no clínicos a través de la RIAIDT gracias a un acuerdo de gestión establecido entre la Facultad de Medicina y Odontología y la RIAIDT en el año 2011.

COD. UAR.	Nombre común	Familia	Especie	Tipo pieza	Dimensiones /peso
MAVER01	Mamut	Elephantidae	<i>Mammuthus primigenius</i> (Blumenbach, 1799)	Vértebra de mamut fosilizada	16,5x10,8x8,2 cm
MAMOL01	Mamut	Elephantidae	<i>Mammuthus primigenius</i> (Blumenbach, 1799)	Molar inferior derecho de mamut fosilizado	19,5x8,5x14,0 cm
MAMOL02	Mamut	Elephantidae	<i>Mammuthus primigenius</i> (Blumenbach, 1799)	Tercio posterior de molar inferior izquierdo de mamut fosilizado	Subpieza 1 analizada: 18x10,6x8,3 cm
MET01	Condrita ordinaria H5	-	-	Meteorito	5,8x4,9x4,7 cm; 296 g
MET02	Siderito o Meteorito metálico de Carlton IAB, SLM	-	-	Meteorito	12,5x7,4x0,6 cm; 280 g
PAJ01	Cardenal común o copetón	Thraupidae	<i>Paroaria coronata</i> (Miller, 1776)	Ave	10,5 cm (altura)
PAJ02	Churrinche, Príncipe, Mosquero cardenal	Tyrannidae	<i>Pyrocephalus rubinus</i> (Boddaert, 1783)	Ave	6,0 cm (altura)
TITI01	Tití común	Callitrichidae	<i>Callithrix jacchus</i> (Linnaeus, 1758)	Mamífero	11,7 (altura)
SILQUARIA	-	Turritellidae	<i>Siliquaria squamata</i> (Blainville, 1827)	Concha de gasterópodo	21x15x10 mm
BUSYCON	-	Melongenidae	<i>Busycon sp.</i> (Conrad, 1840)	Concha de gasterópodo	8,2x4,0x3,3 cm
CONUS	-	Conidae	<i>Conus malacanus</i> (Hwass in Bruguière, 1792)	Concha de gasterópodo	7,2x3,9x3,7 cm
COD. UAR.	N.I. MHN	n° original	Lugar recogida	Fecha Ingreso	Colección
MAVER01	02735	5	Buxán (Lugo)	1965	Fósiles de Galicia
MAMOL01	02731	1	Buxán (Lugo)	1965	Fósiles de Galicia
MAMOL02	02732	2	Buxán (Lugo)	1965	Fósiles de Galicia
MET01	04001	-	Cangas de Onís	1924-1961	Viqueira (donante: D. León Salmeán)
MET02	00869	1341	Carlton, Hamilton County, Texas (EEUU)	1940	Viqueira
PAJ01	3491	-	América	1924 (?)	Biblioteca América
PAJ02	3442	-	Concepción. Paraguay	1930	Biblioteca América
TITI01	02898	-	Brasil	1850	Animais-tipo
SILQUARIA	7255	173-A	Cuba	1914	Morillo
BUSYCON	7055	40	Yucatán (Mexico)	1914	Morillo
CONUS	-	7546	Rameswaram, Tamil Nadu, India	2005	Collection Röckel

Tabla 1. Descripción de las piezas estudiadas. Cod. UAR.: código Unidad de Arqueometría; Cod. TAC: código registro tomográfico; N.I. MHN: número de inventario asignado en el Museo de Historia Natural.

Table 1. Description of the studied samples. Cod. UAR.: Archaeometry Unity code; N.I. MHN: MHN inventory number.

Complementariamente, y en aquellos casos en los que se pudo tener acceso a submuestras, se realizaron análisis de Difracción de rayos X de Polvo Cristalino. Éstas son el meteorito MET02 y el fósil de mamut MAMOL02. El equipo utilizado fue un difractor Philips PW1710 con gonió-

metro vertical de geometría Bragg-Brentano $\theta/2\theta$, generador con tubo de 2,2 kW con ánodo de Cu monocromador de grafito y detector proporcional PW1711/10. Se utilizó un tiempo de medida de 3 segundos por paso en un rango angular de 2 a 65° de 2θ .

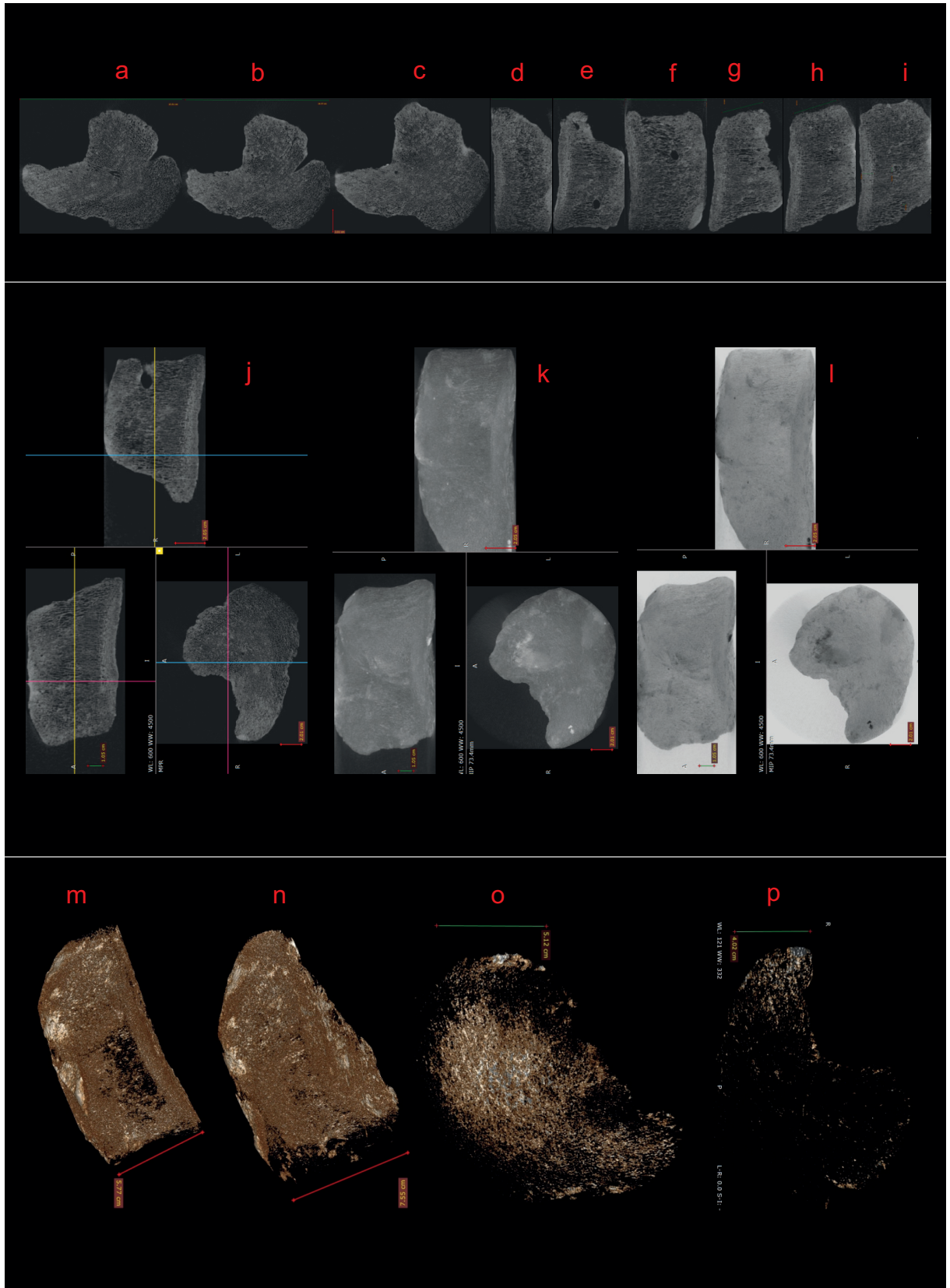


Figura 2. Selección de tomogramas (a-i), visión radiográfica (j, l) y reconstrucción 3D (m-p) del ejemplar MAVER01.
Figure 2. Tomogram selection (a-i), radiographic vision (j, l) and reconstruction 3D (m-p) of the sample MAVER01.

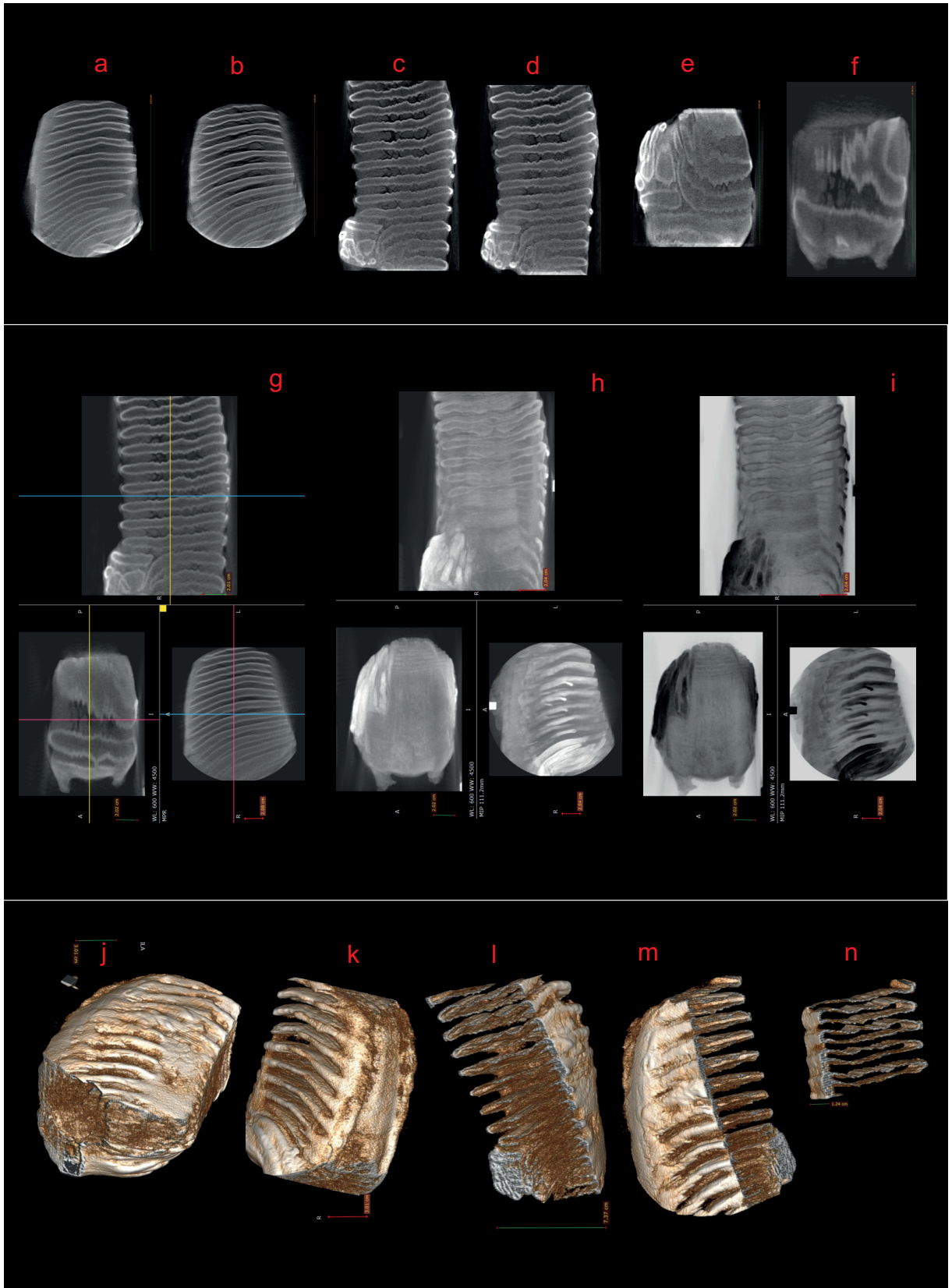


Figura 3. Selección de tomogramas (a-f), visión radiográfica (g, i) y reconstrucción 3D (j-n) del ejemplar MAMOL01.
Figure 3. Tomogram selection (a-f), radiographic vision (g, i) and reconstruction 3D (j-n) of the sample MAMOL01.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fósiles de mamut

La muestra analizada MAVER01 es una vértebra del único mamut descubierto en Galicia (BUGALLO RODRÍGUEZ, 1993; 2003: 321-323; IGLESIAS IGLESIAS, 1964, TORRE ENCISO, 1962). Además de esta vértebra se conservan otros restos óseos fosilizados, como los dos molares también tomografiados. Los mamuts son una especie extinta muy estudiada por los paleontólogos (STUART *et al.* 2002; STUART, 2005), y de hecho el estudio de sus fósiles puede ser muy importante en el desarrollo de estudios filogenéticos en la familia Elephantidae (LISTER & SHER 2001; ROTH, 1992; TODD 2010a, 2010b). En concreto, para la extracción de ADN es importante conocer estructuralmente como es internamente la muestra (CAPELLI *et al.* 2006). El estudio tomográfico es muy útil pues para visualizar las estructuras internas y facilitar así extracciones de submuestras mínimamente invasivas y en aquellas áreas que presentan mejor potencial. Es destacable, que en concreto para los estudios de ADN es importante definir con cuidado las condiciones de exposición del fósil, puesto que podría haber afectación por la radiación en el ADN aunque este es un tema que todavía está en fase de estudio (FEHREM-SCHITZ *et al.* 2016, GRIESHABER *et al.* 2008; PAREDES *et al.* 2012). También es importante realizar una selección adecuada de la muestra pensando en estudios de datación del hueso. Y, sin duda, para cualquier estudio paleontológico es fundamental el estudio tomográfico, clave para la realización de mediciones cuantitativas, sin ocasionar daño alguno al ejemplar. Disponer de un modelo tridimensional virtual tanto del exterior de la pieza, como del interior de la pieza permite imprimir en 3D las piezas con propósitos de investigación y para generar materiales divulgativos y expositivos.

La muestra MAVER01 se encuentra aparentemente en muy buen estado de conservación. En los cortes tomográficos de secciones centrales de la pieza (Fig. 2: a-i) se diferencian claramente las trabéculas óseas, algunas de ellas rellenas de sedimento, pero en su mayoría vacías y sin presentar signos de aplastamiento o de diagénesis. No se observa en ningún caso macrofracturas u otro tipo de alteraciones mecánicas ni en los tomogramas ni en las visualizaciones radiográficas (Fig. 2: k,

l). A través del software, en la reconstrucción 3D se pueden seleccionar partes del histograma de radiodensidades y facilitar la visualización de áreas internas de menor densidad y también identificar y aislar la capa de sedimentos o matriz cementada que recubre parcialmente a la pieza (Fig. 2: m-p).

MAMOL01 es uno de los molares mejores conservados del fósil de mamut. La tomografía de esta pieza refleja su buen estado de conservación, diferenciándose perfectamente las crestas de esmalte de los molares, con sus ondulaciones características (Fig. 3: a-i). Éstas se pueden representar más nítidamente a partir de la reconstrucción 3D después de eliminar virtualmente la fracción ósea (Fig. 3: j-n). En las imágenes también se observa el hueso intracrestal (imagen c), que está bien conservado aunque presenta un agrietamiento parcial en las partes más internas. Más allá de este agrietamiento parcial no se observan otras fisuras importantes que afecten a la integridad de la muestra, salvo un ligero desprendimiento pulverulento superficial observable ya en el examen macroscópico.

MAMOL02 es el segundo molar tomografiado. Macroscópicamente esta pieza presenta un estado de conservación externo peor que MAMOL01. En la tomografía se confirma que este mal estado de conservación se extiende hasta el núcleo de la pieza (Fig. 4). Las crestas del esmalte están algo aplastadas y se produce una laminación a modo de hojaldre que favorece los desprendimientos. En la parte central de fósil (imagen c) se observa una línea de rotura ocasionada por flexotracción sobre ese punto central. Esta fisura pone en riesgo la integridad de uno de los cuadrantes de la pieza. El registro tomográfico es especialmente útil en este ejemplar, debido a que cualquier manipulación manual puede ser peligrosa y sería recomendable realizar cualquier morfometría únicamente a partir del registro virtual. Por otro lado, al ser la pieza con mayor presencia de fragmentos desprendibles es quizás la idónea para realizar submuestras para otra analíticas preliminares de carácter microestructivo. De hecho, se aprovechó esta circunstancia para realizar un análisis de difracción de rayos X sobre pequeñas esquirlas que se desprendían de la matriz ósea. El difractograma, recogido en la figura 13, muestra el carácter cristalino de la muestra, identificándose fluorapatito $(Ca, Fe)_5(PO_4)_3(F, Cl)$, mineral característico del hueso. Esta identificación

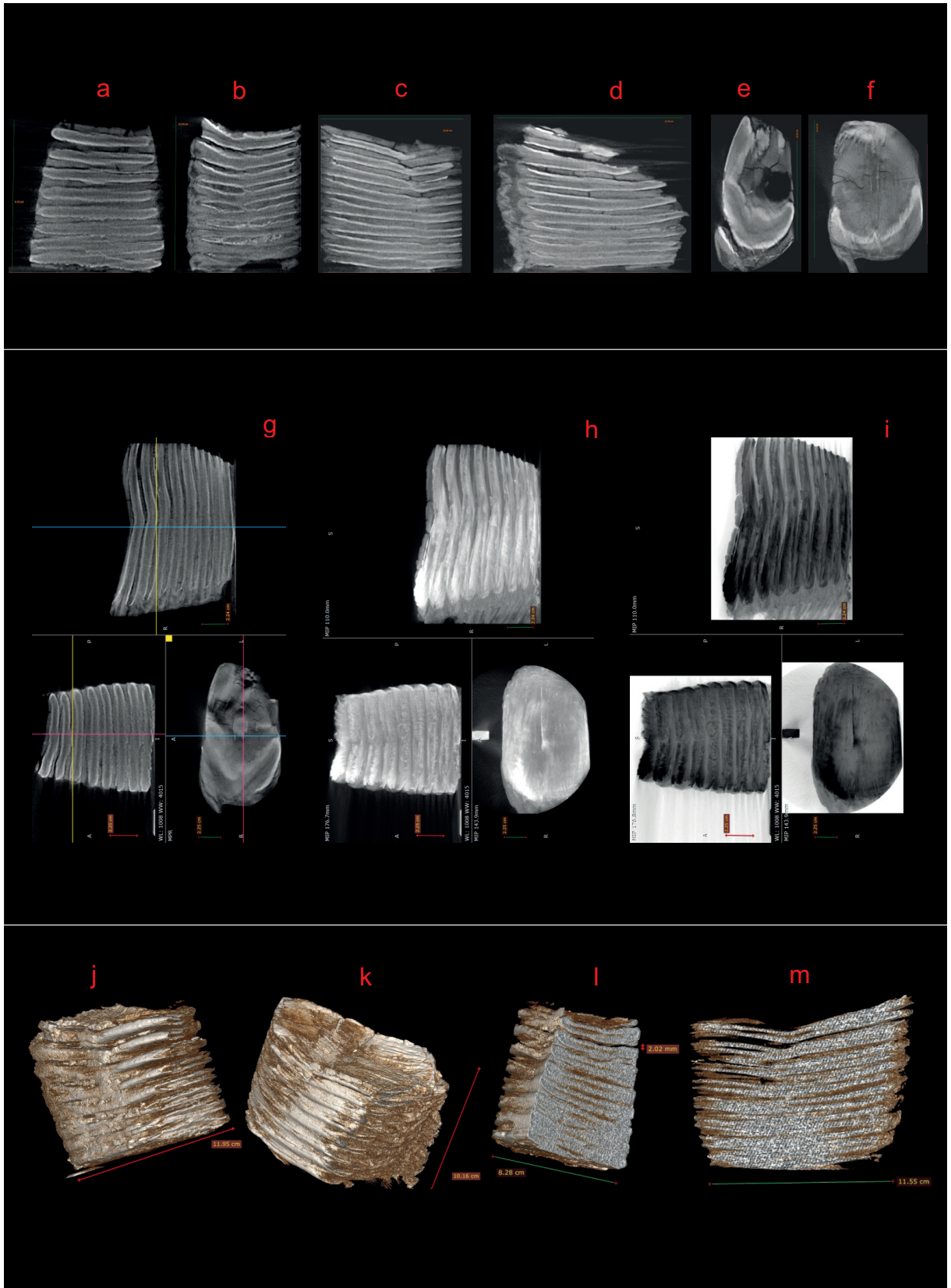


Figura 4. Selección de tomogramas (a-f), visión radiográfica (g, i) y reconstrucción 3D (j-m) del ejemplar MAMOL02.
Figure 4. Tomogram selection (a-f), radiographic vision (g, i) and reconstruction 3D (j-m) of the sample MAMOL02.

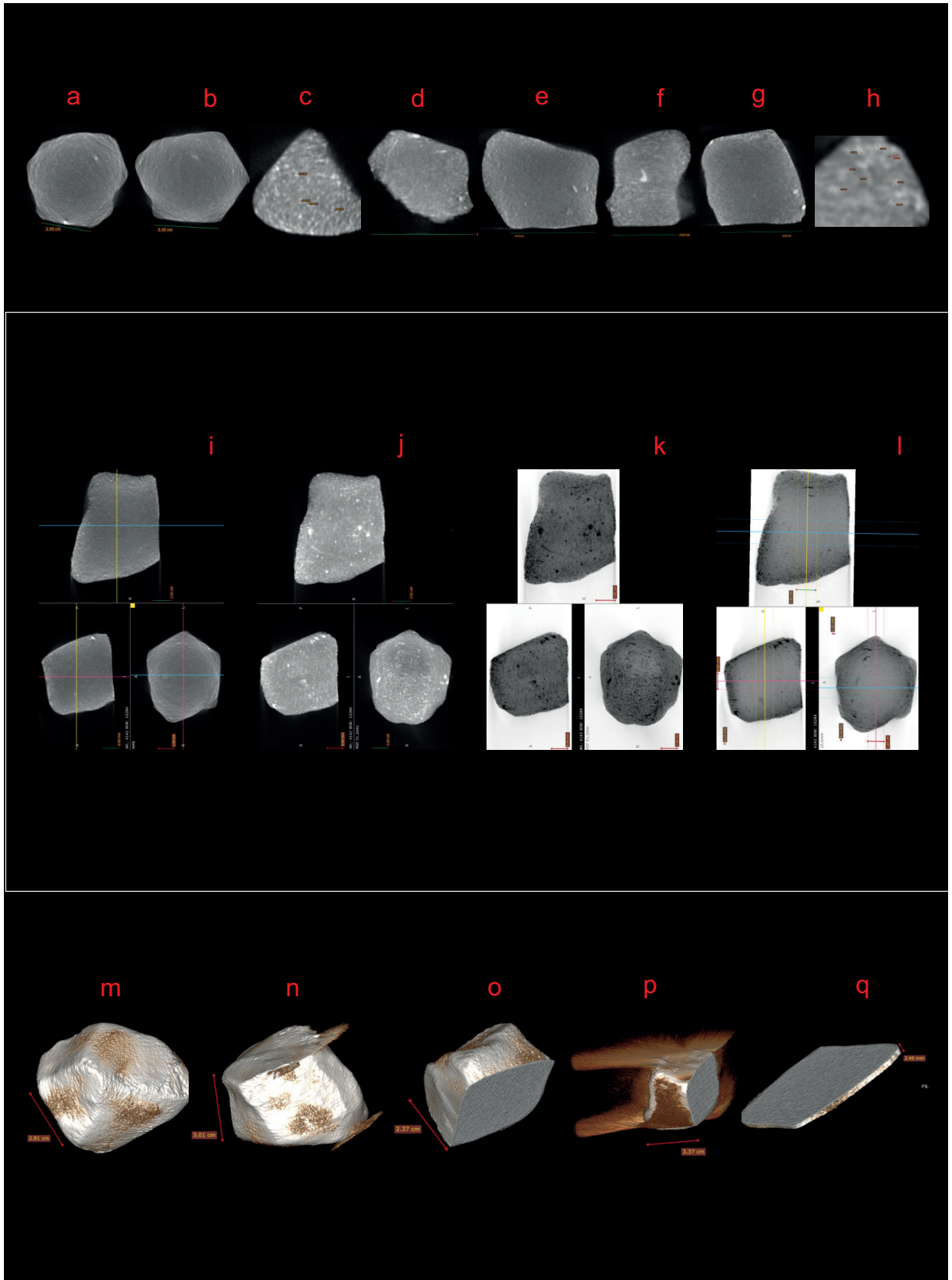


Figura 5. Selección de tomogramas (a-h), visión radiográfica (i, l) y reconstrucción 3D (m-q) del ejemplar MET01.
Figure 5. Tomogram selection (a-h), radiographic vision (i, l) and reconstruction 3D (m-q) of the sample MET01.

demuestra que la diagénesis no fue excesiva y se conserva la estructura cristalina mineral propia del hueso.

Meteoritos

El ejemplar MET01 es un meteorito clasificado como condrita. Externamente (Fig. 5) se aprecia en esta pieza cuasi-poliédrica una costra de fusión submilimétrica que recubre gran parte de la superficie y tan solo está ausente en algunas zonas por desprendimiento mecánico dejando a la luz una textura granuda. En la tomografía no se aprecia esta costra externa, si bien se puede correlacionar con las manchas “marrones” que se aprecian en las reconstrucciones 3D realizadas con maximización de contraste (Fig. 5: m-q). Las condritas son meteoritos que se formaron en el primitivo Sistema Solar por agregación de pequeños granos y polvo y son los que con mayor frecuencia caen en la Tierra. Su naturaleza es rocosa, con poco hierro y níquel y se clasifican en tres tipos fundamentales: de enstatita, ordinarias y carbonáceas. Las primeras, también denominadas condritas E, son escasas, tienen una gran cantidad del mineral enstatita, un piroxeno de magnesio, y pequeñas cantidades de hierro en forma metálica o combinado como sulfuros. Las condritas ordinarias, las más comunes, están formadas básicamente por olivino, piroxeno, plagioclasa y diferentes cantidades de hierro metálico entre un 21 % (condritas H) a un 2% (condritas LL). El tercer tipo, las condritas carbonáceas (condritas C), son también escasas y están caracterizadas por la presencia de compuestos de carbono. En el ejemplar que nos ocupa no se pudo realizar en su momento un submuestreo para un análisis mineralógico por lo que no es posible por ahora caracterizarla composicionalmente. Sin embargo, se conoce por los datos aportados en su adquisición, que es una condrita de tipo H. Más allá de la composición, estos meteoritos se caracterizan texturalmente por la presencia de pequeñas esferas submilimétricas denominadas cóndrulos. Según sea el grado de alteración de estos cóndrulos, se clasifican en una escala que va del 1 al 7, representando el 1, cóndrulos bien definidos y el 7 el extremo contrario donde estos están totalmente destruidos. MET01, clasificado como H5, debería de tener estas esferas en estado de “menos distinguibles”. El análisis por tomogra-

fía, es útil para poder contrastar esta clasificación, en concreto ya se aplicó anteriormente para su análisis textural (EBEL & RIVERS 2007). En este estudio, la inspección detallada de diferentes tomogramas (Fig. 5: a-h) revela una textura interna heterogénea donde no se visualizan claramente los nódulos. Es, sin embargo, en la visualización radiográfica (obtenida a partir de la tomografía) (Fig. 5: i-k) donde se aprecian más claramente pequeñas masas subsféricas, en especial en la representación en negativo. Se puede pues confirmar la clasificación original como H5, si bien, incluso se podría rebajar a H4, si nos atenemos a la “distinguibilidad” de las condritas.

El meteorito MET02 está clasificado como meteorito metálico. Conocidos igualmente como sideritos o meteoritos férricos son un tipo de meteoritos compuestos en su mayoría por hierro y níquel, formando aleaciones cristalizadas como kamacita y taenita. Parece que proceden del núcleo de asteroides y se liberan por colisión con otros cuerpos. Es poco frecuente su entrada en la tierra, pero los que impactan son de grandes dimensiones. El ejemplar del museo es un fragmento en formato loncha de un meteorito mucho más grande. La superficie cortada está pulida y tratada con ácidos fuertes para revelar una estructura en enrejado que se conoce como estructuras de Widmanstätten y que son el principal rasgo identificativo y de clasificación de este tipo de meteoritos. Se habla de ataxitas cuando el meteorito carece de este tipo de estructuras, de hexaedritas cuando estas son muy aparentes y octaedritas, como término intermedio. En MET02 se pudo llevar a cabo un micromuestreo del núcleo del meteorito y por análisis de difracción de rayos X (Fig. 13) se identificó kamacita como única aleación metálica. Las hexaedritas tienen una composición predominante de kamacita, a diferencia de las ataxitas, compuestas por taenita y las octaedritas que contienen mezclas de taenita y kamacita. Por tanto, por la presencia de las estructuras de Windmanstätten y la composición mineralógica confirman que se trata de un meteorito metálico de tipo hexaedrita. Sería necesario realizar análisis químicos complementarios para poder clasificar con mayor precisión el tipo de hexaedrita, pues estas se subdividen en grupos en función del tipo de impurezas presentes como el germanio, galio, iridio, antimonio, arsénico, cobalto, cobre, oro, talio o wolframio además de pequeñas cantidades

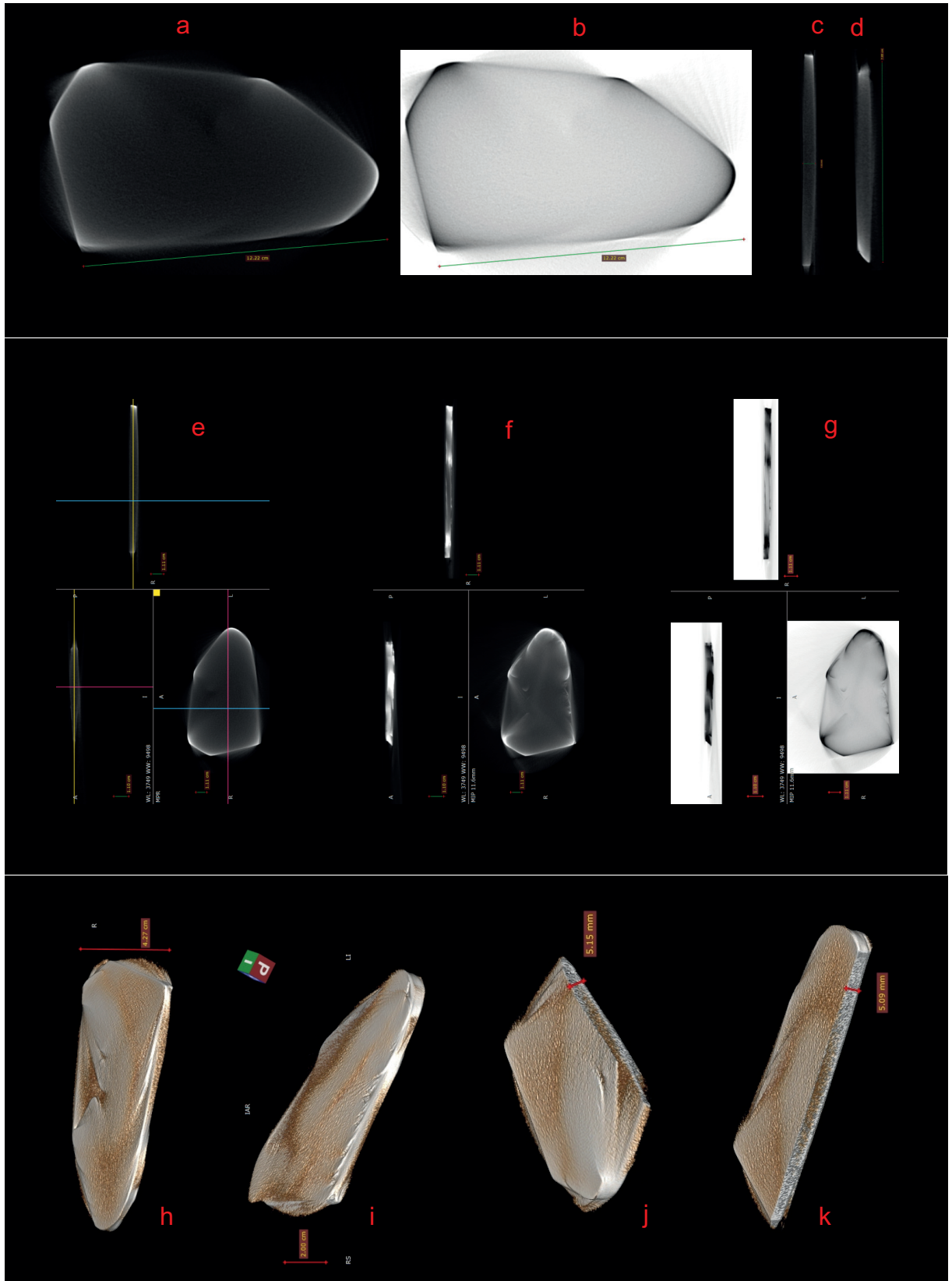


Figura 6. Selección de tomogramas (a-d), visión radiográfica (e, g) y reconstrucción 3D (h-k) del ejemplar MET02.
Figure 6. Tomogram selection (a-d), radiographic vision (e, g) and reconstruction 3D (h-k) of the sample MET02.

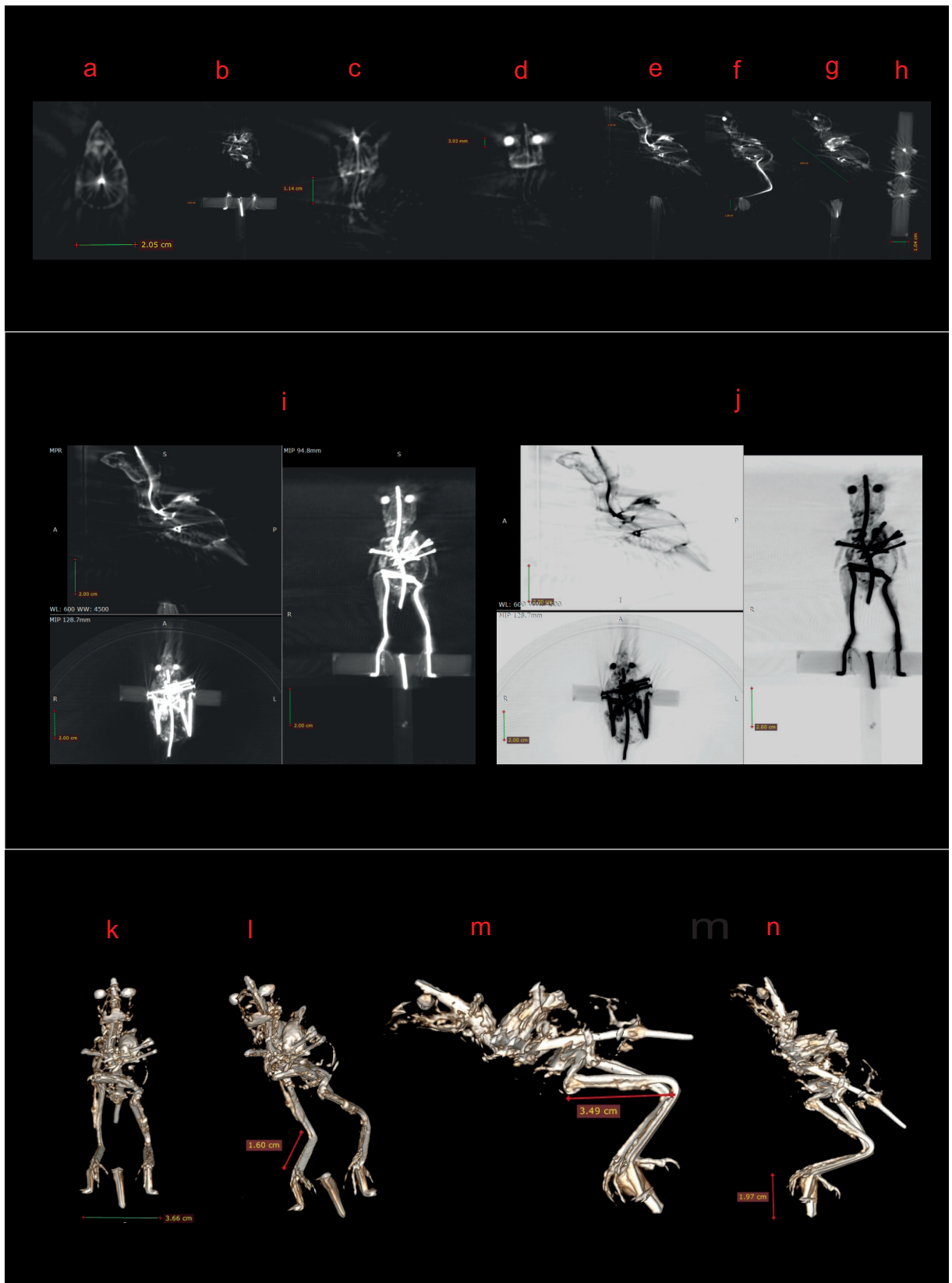


Figura 7. Selección de tomogramas (a-h), visión radiográfica (i, j) y reconstrucción 3D (k-n) del ejemplar PAJ01.
Figure 7. Tomogram selection (a-h), radiographic vision (i, j) and reconstruction 3D (k-n) of the sample PAJ01.

de otros minerales litogénicos (METEORITE, 2019). La superficie externa original de este ejemplar es de un color marrón más oscuro. Se pudo llevar a cabo un micromuestreo de esta pátina externa y se identificaron, además de kamacita, varios minerales procedentes de la alteración de la misma: óxidos de hierro como goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$); revorita ($\text{Ni-Fe}_2\text{O}_4$) y Wuestita (FeO). Estas fases han debido de formarse por meteorización posterior a la caída del meteorito a la tierra. Son fases oxi-hidratadas que requieren para su formación una atmósfera de oxígeno y presencia de agua, por lo que para evitar que continúe su cristalización, y con fines de conservación, se debería de mantener a la pieza en una atmósfera seca y preferentemente cerrada. MET02, al ser puramente metálico, absorbe fuertemente la radiación se hace necesario aplicar una elevada energía en el análisis tomográfico para poder obtener buenos resultados. Estas condiciones energéticas que necesitan las muestras metálicas no son las más idóneas en los equipos de usos clínicos, puesto que en estos casos se suelen irradiar tejidos y huesos que son menos radiodensos, y tampoco se pueden sobrepasar ciertas dosis de radiación por limitaciones de radioprotección. Además, se generan multitud de artefactos en las imágenes que son difíciles de corregir (líneas radiales, sombreados; Fig. 6: b). Sin embargo, y a pesar de estas limitaciones, y utilizando un equipo clínico, se ha conseguido una tomografía mínimamente aceptable en el que se visualiza el interior de la pieza y se constata su apariencia homogénea, sin agrietamientos y es posible realizar una reconstrucción 3D con cierta calidad de la pieza. No se diferencian, eso sí, las estructuras de Widmanstätten, pero esto depende de la resolución de la técnica, siendo necesario para la detección de este tipo de detalles, de submilimétricos a micrométricos, la aplicación de una técnica microtomográfica.

Animales naturalizados

Los ejemplares de taxidermia, representan gran parte de los ejemplares del MHN. Estudiar su estado de conservación no siempre es fácil, más allá de la observación del deterioro externo causado por desprendimientos o decoloraciones. El examen tomográfico de estas piezas puede en ocasiones no ser vistoso, pero sí es de extremo interés puesto que

aporta información valiosa, y antes oculta, sobre su estado interno. Por un lado, se pueden evaluar las peanas y soportes de madera para estudiar su estado de conservación y ver si están afectadas por xilófagos u hongos, lo que implicaría la necesidad de una sustitución inmediata. También se puede observar el estado de conservación del cuerpo a través de la identificación de putrefacciones o la detección de infestaciones por insectos u otras plagas. Por otro lado, se puede visualizar con precisión, la arquitectura de alambres que se ha utilizado a modo de esqueleto artificial para mantener la forma del animal, permitiendo profundizar en la técnica taxidérmica aplicada. Finalmente es útil para el estudio del ejemplar en sí, desde un punto de vista anatómico, en especial, a través del estudio de su estructura ósea.

PAJ01 es un ave disecada, un cardenal común (*Paroaria coronata*) procedente de Sudamérica. En el examen tomográfico (Fig. 7) resalta intensamente la estructura metálica interna, así como las cuentas, probablemente vítreas, que rellenan las cuencas orbitales. No se observa la presencia de ningún elemento extraño u otro signo de deterioro o posible infestación por insectos ni en el soporte ni en el propio cuerpo del animal. La reconstrucción 3D (Fig. 7: k-n) es difícil de obtener debido a que existe un alto contraste de radiodensidades entre el entramado de alambres y la parte orgánica del animal. Sin embargo, no es imposible si se utilizan softwares especializados de *rendering* que pueden modificar diferentes parámetros relacionados con el histograma de radiodensidades. La eliminación de los artefactos (Fig. 7: a-h) que se generan en los tomogramas por la presencia del metal es también posible, al menos se puede aminorar, con el uso de estos softwares especializados. El programa utilizado en este trabajo no permite realizar tratamiento sobre los artefactos, pero a pesar de su presencia, es posible visualizar con cierta nitidez la estructura ósea del animal y por tanto se pueden realizar mediciones sobre la misma.

EL otro ejemplar de ave disecada PAJ02, es un churrinche (*Pyrocephalus rubinus*) procedente de Uruguay. Al igual que con la especie anterior, en la tomografía (Fig. 8: a-i) se observan numerosos artefactos originados por la estructura metálica de alambres utilizada para darle forma. La peana es de madera y se encuentra en buen estado de

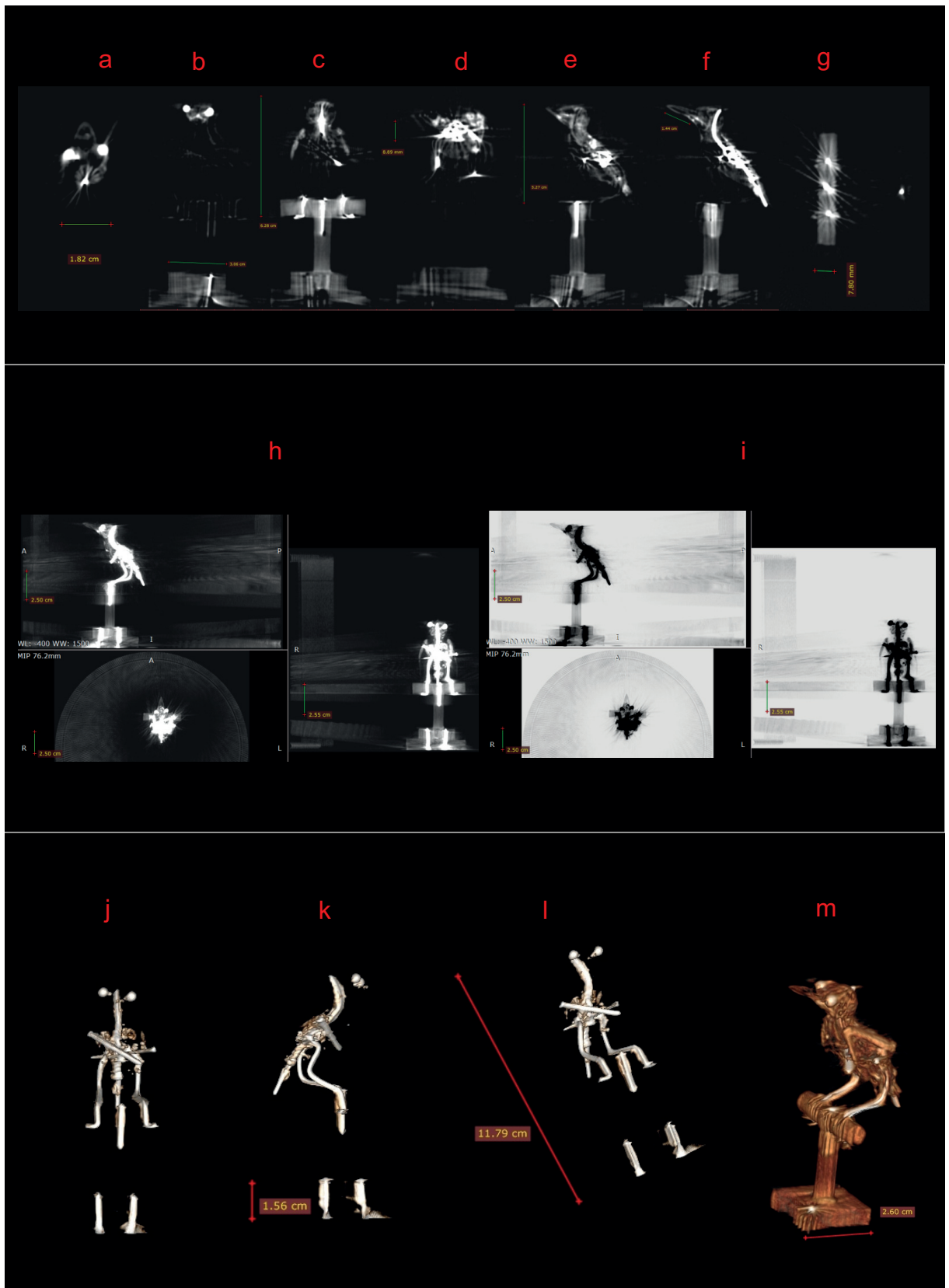


Figura 8. Selección de tomogramas (a-g), visión radiográfica (h, i) y reconstrucción 3D (j-m) del ejemplar PAJ02.
Figure 8. Tomogram selection (a-g), radiographic vision (h, i) and reconstruction 3D (j-m) of the sample PAJ02.

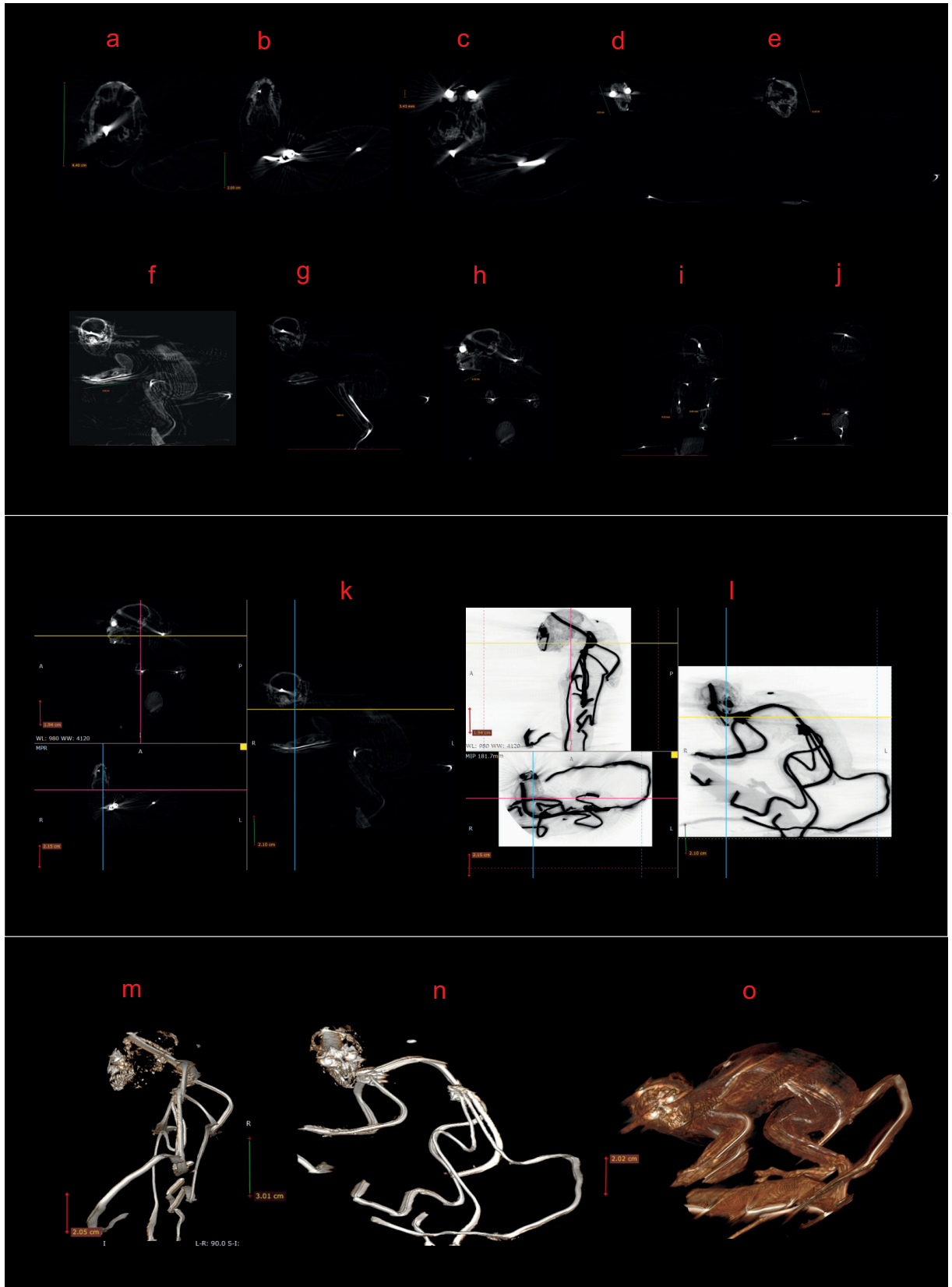


Figura 9. Selección de tomogramas (a-j), visión radiográfica (k, l) y reconstrucción 3D (m-o) del ejemplar TITI01.
Figure 9. Tomogram selection (a-j), radiographic vision (k, l) and reconstruction 3D (m-o) of the sample TITI01.

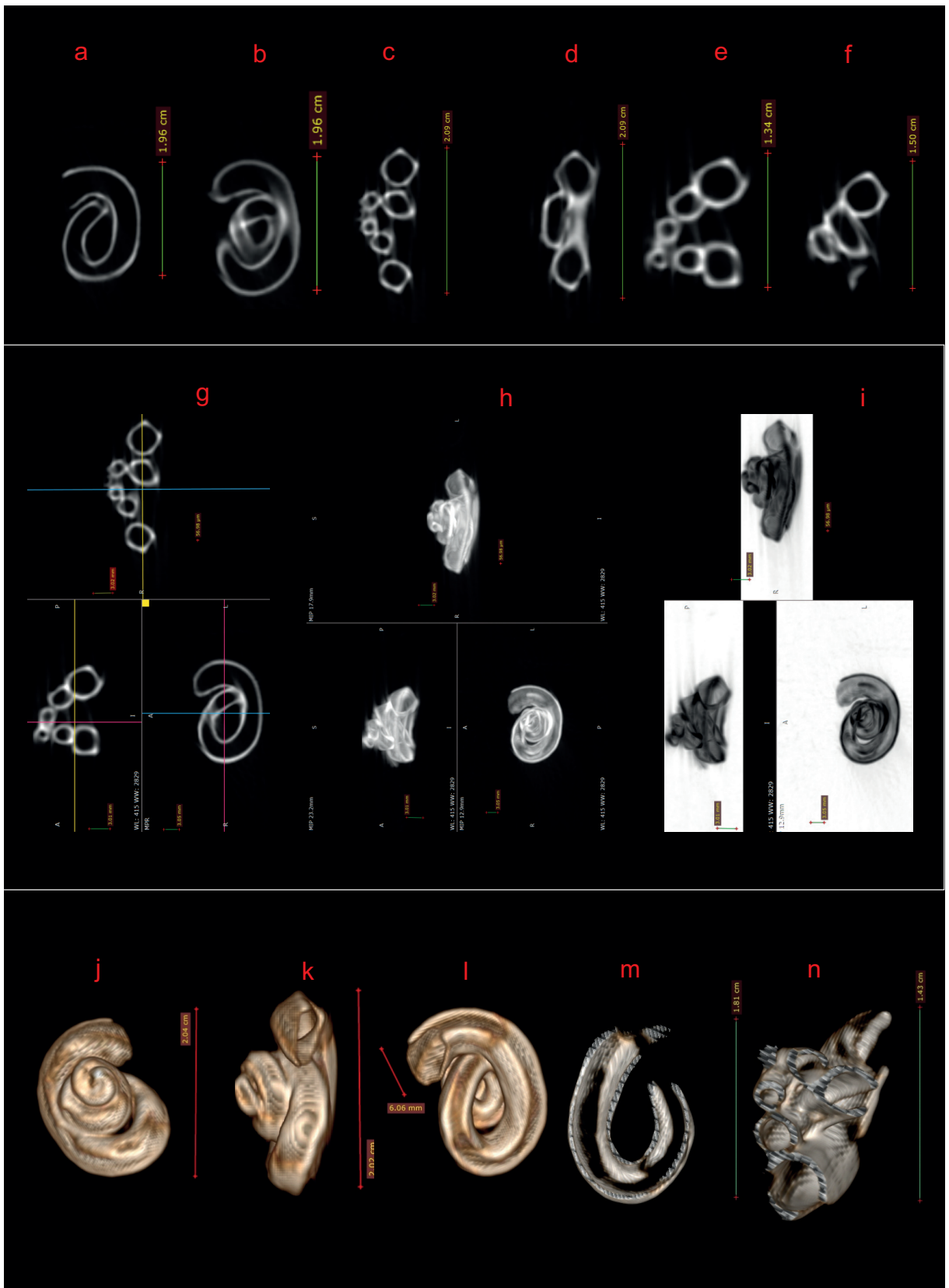


Figura 10. Selección de tomogramas (a-f), visión radiográfica (g, i) y reconstrucción 3D (j-n) del ejemplar SILIQUARIA.
Figure 10. Tomogram selection (a-f), radiographic vision (g, i) and reconstruction 3D (j-n) of the sample SILIQUARIA.

conservación, incluso se puede visualizar el veteado de la madera. No se observan signos de mala conservación en el cuerpo del animal y los huesos son fácilmente identificables (Fig. 8: m). En las reconstrucciones 3D en la que se establecen umbrales para limitar las radiodensidades más elevadas, se aprecia como se empieza a vislumbrar el cuerpo del animal. Como se comentó anteriormente, este efecto es mejorable con el uso de software especializado. Esta especie animal se caracteriza entre otras cosas por poseer un pico relativamente largo que se visualiza, junto con el cráneo, claramente en las tomografías (Fig. 8: f, i).

Al ejemplar de Tití disecado (*Callithrix jacchus*), TITI01, son de aplicación los mismos comentarios que en los casos anteriores. En la tomografía (Fig. 9) se aprecia el complejo entramado metálico y algunos caracteres anatómicos del animal; en concreto, son fácilmente visualizables el cráneo e incluso las piezas dentales (Fig. 9: imagen b). El estado de conservación interna de la pieza es bueno y no se observa presencia de ningún tipo de infestación. En este estudio preliminar, a pesar de las limitaciones del *rendering* 3D, es posible realizar morfometrías anatómicas, en especial en el esqueleto, sin que se vea afectada la integridad de la pieza. Hay que hacer hincapié, que en todos los casos las imágenes tomográficas mostradas son una selección representativa, pero para la evaluación de los diferentes rasgos es necesario trabajar directamente con el programa de *software* con todas las imágenes y a través de las visualizaciones 3D en rotación.

Ejemplares de colecciones malacológicas

Las conchas de los moluscos son unas de las piezas de mayor interés a la hora de ser sometidas a un estudio tomográfico. Por un lado, porque se produce un contraste que produce imágenes de muy buena calidad. Por otro lado, poseen una estructura interna compleja de gran belleza, imposible de visualizar si no se realizasen cortes mecánicos de las mismas como se ha venido haciendo históricamente. En este tipo de colecciones no se conserva el organismo que la generó, por lo que poco se puede aportar sobre el mismo, pero sí se puede estudiar todo el material calcáreo que se ha conservado.

En la reconstrucción 3D del ejemplar de *Siliquaria* sp. (muestra SILIQUARIA) se visualiza la concha entera (Fig. 10) y también ésta seccionada

virtualmente para ver la disposición y orientación de los canales y con la opción de poder realizar cualquier tipo de cálculo morfológico. La muestra BUSYCON es un ejemplar malacológico de gran interés y belleza, en especial cuando se estudia tomográficamente su estructura interna (Fig. 11). Se visualiza perfectamente la forma espiral interna de la concha y la reconstrucción 3D es de una notable calidad (Fig. X: j-m) lo que asegura una impresión 3D fiel a la realidad de alto valor para la investigación de su morfología y para la generación de productos expositivos y con carácter didáctico. Al igual que con los ejemplares anteriores, la concha de *Conus* sp. (muestra CONUS) posee una gran belleza debida a su organización interna y su simetría. En la imagen radiográfica (Fig. 12: h) se observa bien la torsión del eje central. La reconstrucción 3D también es de alta calidad.

En el año 2011 se inició, a través de la solicitud al FECYT de un proyecto en colaboración con el MHN, una tentativa para el análisis microtomográfico de ejemplares submilimétricos de la colección tipo del género *Conus*. En aquel momento no se pudo desarrollar, pero supuso un punto de partida para el impulso de aplicaciones tomográficas en malacología. El análisis de individuos grandes debe de realizarse en equipamientos de tipo CBCT, puesto que por restricciones de volúmenes máximos de escaneo y tamaños de muestra no es posible realizarlos en microtomógrafos. Con estos ejemplos anteriores, se constata que la calidad y la utilidad del análisis macrotomográfico es perfectamente válido con fines morfométricos en investigación y para la creación de productos expositivos. La selección de imágenes incluidas en este trabajo es escasa por motivos de espacio, pero son cerca de 1000 imágenes por cada una de las orientaciones (axial, coronal y sagital) las que es posible obtener en el estudio, además también se logran otro tipo de visiones como las radiográficas. Las imágenes de reconstrucciones 3D, con sus diferentes orientaciones y posibilidades de seccionamiento son infinitas. La aplicación de la tomografía en malacología, combinando diferentes tipos de técnicas, según sea el tamaño de los especímenes y las resoluciones deseadas, tiene un interés probado para la generación de colecciones virtuales y productos expositivos.

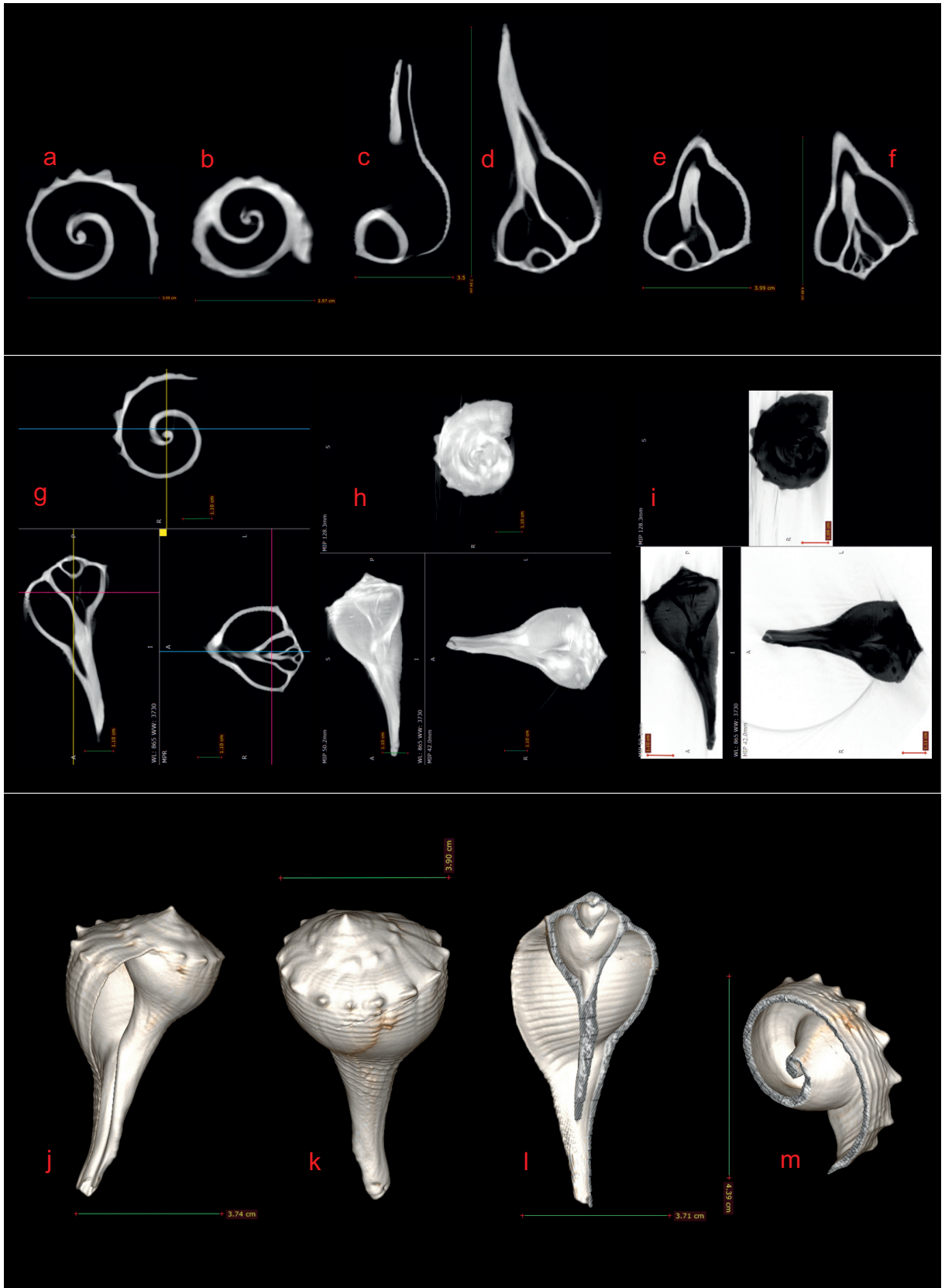


Figura 11. Selección de tomogramas (a-f), visión radiográfica (g, i) y reconstrucción 3D (j-m) del ejemplar BUSYCON.
Figure 11. Tomogram selection (a-f), radiographic vision (g, i) and reconstruction 3D (j-m) of the sample BUSYCON.

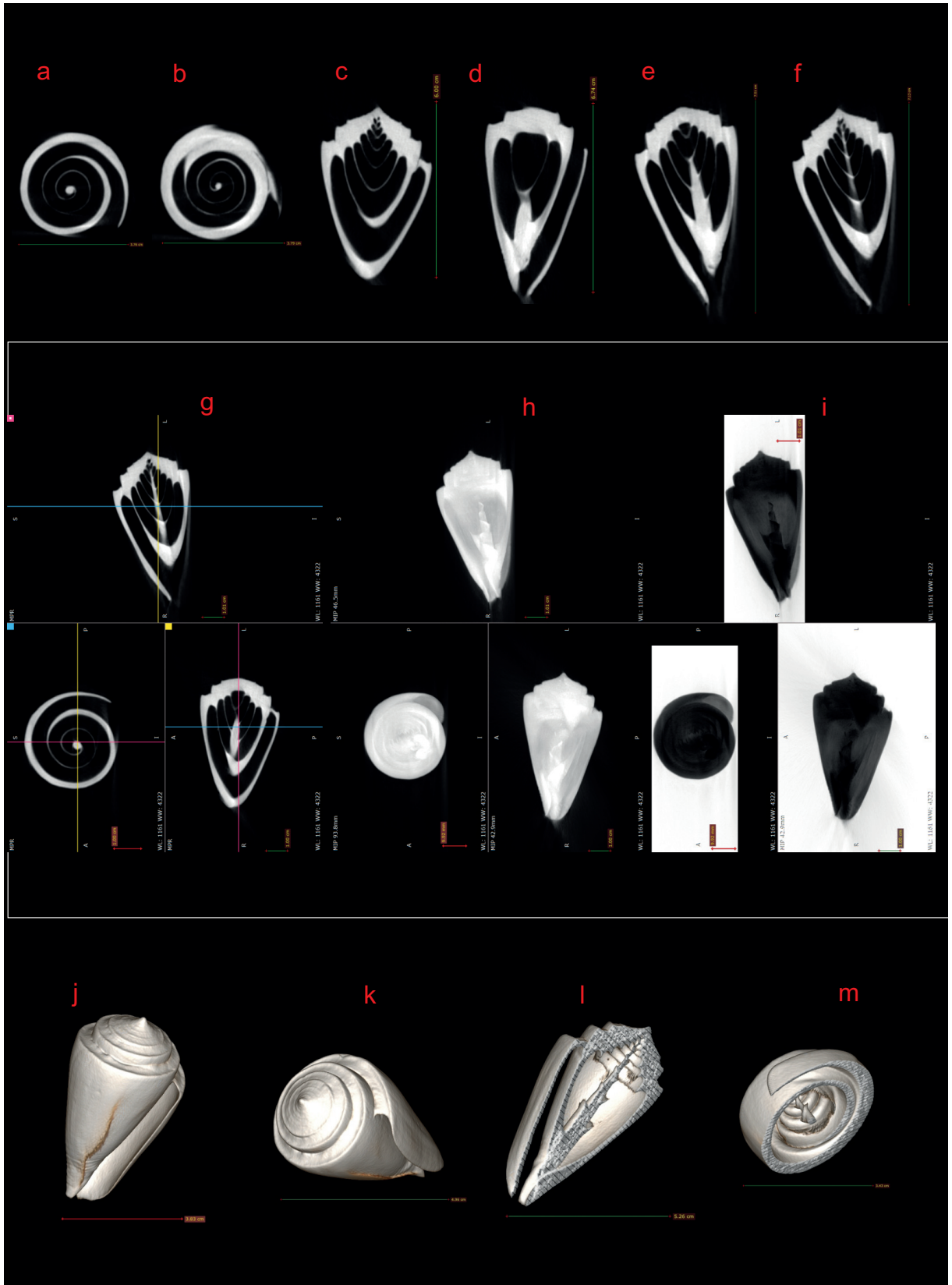


Figura 12. Selección de tomogramas (a-f), visión radiográfica (g, i) y reconstrucción 3D (j-m) del ejemplar CONUS.
Figure 12. Tomogram selection (a-f), radiographic vision (g, i) and reconstruction 3D (j-m) of the sample CONUS.

CONCLUSIONES

La aplicación de la tomografía computerizada de rayos X en objetos museísticos, en especial ejemplares de Historia Natural, no es nueva, pero no ha sido muy utilizada en el ámbito gallego. Esta circunstancia se explica porque suele desconocerse la disponibilidad de los recursos tomográficos existentes a nivel local y porque no llega a percibirse el alto potencial de esta técnica como herramienta de análisis no destructivo. En este trabajo, se han estudiado diferentes ejemplares del MHN para mostrar la potencialidad en este tipo de muestras.

En los fósiles de mamut analizados se ha podido comprobar su buen estado de conservación. En la vértebra MAVER01 se diferencian con claridad las trabéculas óseas y en los molares (MAMOL01, MAMOL02) las crestas de esmalte. El análisis tomográfico posibilita seleccionar, de un modo no invasivo y tras el examen completo de las piezas, áreas en las cuales realizar extracciones para análisis de ADN o de otro tipo. Complementariamente, se genera un modelo 3D del interior y exterior de la pieza que facilita su completo estudio morfométrico con la posibilidad de poder imprimir la pieza o parte de ella con fines expositivos y/o didácticos.

El carácter metálico de algunos meteoritos hace difícil la visualización interna de los mismos, debido a la alta radiodensidad que presentan y a la formación de artefactos de tipo *aliasing* (aparición de líneas radiales), *streaks* (rayas) o *shadings* (sombreados). A pesar de las limitaciones que presentan los equipos de uso médico (número limitado de filtros, potencias máximas restringidas), se ha visto que el análisis tomográfico efectuado es muy útil y permite complementar el estudio que se realice por otras técnicas. En MET01, un meteorito rocoso de tipo condrita, se distinguen en tomografía las concreciones esféricas o nódulos que los caracterizan. Estas se han identificado a través de la visualización radiográfica en los bordes de la pieza, lo que confirma la clasificación de este meteorito como condrito H5. En MET02, se pudo intuir la composición metálica porque la radioabsorción es muy elevada y aparecen numerosos artefactos. Esta composición se confirmó en un análisis complementario de difracción de

rayos X donde se concretó una composición de kamacita, una aleación de hierro y níquel (con la presencia de diferentes óxidos, goethita, trevorita y wuestita, en las áreas externas alteradas). En

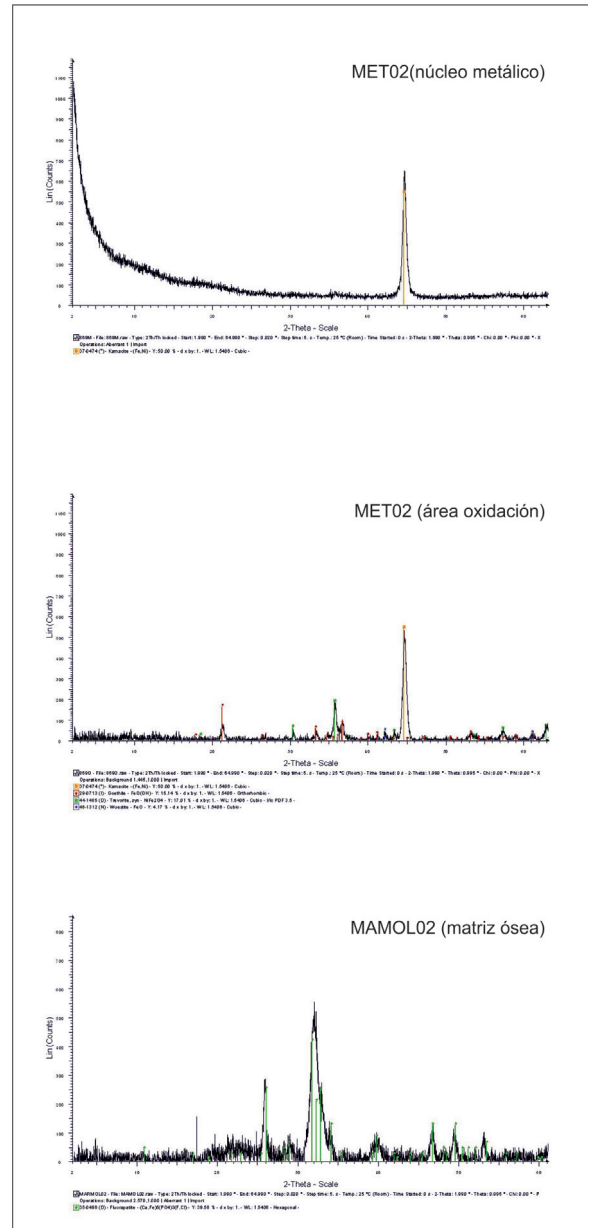


Figura 13. Análisis adicionales de Difracción de rayos X de las muestras MET02 Y MAMOL02. MET02 (núcleo metálico): Kamacite, Fe-Ni. MET02 (área de oxidación): Kamacite, Fe-Ni; Goethite, FeO(OH); Trevorite: NiFe₂O₄; Wuestite: FeO. MAMOL02 (matriz ósea): Fluorapatite, (Ca, Fe)₅(PO₄)₃(F,Cl).

Figure 13. Additional analysis of X Ray Difraccion of the samples MET02 and MAMOL02. MET02 (metal core): Kamacite, Fe-Ni. MET02 (oxidation area): Kamacite, Fe-Ni; Goethite, FeO(OH); Trevorite: NiFe₂O₄; Wuestite: FeO. MAMOL02 (bone matrix): Fluorapatite, (Ca, Fe)₅(PO₄)₃(F,Cl).

ambos meteoritos se comprobó, como a nivel de la estructura interna no se observaban fisuras que afectasen a su integridad.

Las piezas de taxidermia (PAJ01, PAJ02, TIT01) son piezas interesantes para ser sometidas a un estudio tomográfico, aunque las imágenes que se generan incorporan numerosos artefactos debido al alto contraste de radiodensidades entre las partes blandas del animal y la estructura metálica de alambre que se introduce en la fase de disecado. A pesar de presentar esta problemática, se comprobó que era posible estudiar el estado de conservación de las peanas de madera y del propio animal, realizar morfometrías en las estructuras ósea y profundizar sobre el proceso de taxidermización a través del modo de trabajar las estructuras metálicas insertadas.

Los últimos ejemplares tomografiados son conchas de colecciones malacológicas. Lo más destacable de este tipo de muestras es el buen contraste con el que se visualizan sus estructuras internas. Con los ficheros tan nítidos que se generan es totalmente factible realizar cualquier tipo de morfometría, estudiar anatómicamente la estructura interna de las conchas y generar con facilidad modelos 3D de alto valor expositivo y de investigación. En algunos ejemplares de tamaño submilimétrico es preferible utilizar variantes de esta técnica como la microtomografía, pues con ella se mejoran en varios órdenes de magnitud la resolución de las imágenes.

Como líneas en las que se pretende expandir estos estudios tomográficos podemos señalar la aplicación de microtomografía en la colección tipo del género *Conus* del MHN, la exploración de nuevas aplicaciones en otros ejemplares del museo y la programación de otros estudios de carácter más sistemático. Para ello se cuenta con los recursos tomográficos de la USC para análisis de macroejemplares (Equipo TAC del hospital Rof Codina), para mesoejemplares (equipo CBCT de la Facultad de Medicina y Odontología) y para microejemplares (Equipo microCT de la Estación de Biología Mariña de A Graña). Esta oferta pronto se completará a través de la adquisición con fondos FEDER de un equipo de nueva generación de micromografía y un accesorio de nanotomografía acoplado a microscopía electrónica de barrido, ambos integrados en la RIAIDT. Todos estos equipamientos, más allá de su uso clínico, tienen

un alto potencial en el análisis de ejemplares de museos de Historia Natural.

AGRADECIMIENTOS

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).

Agradecemos a todo el personal del Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela su colaboración en el desarrollo de estas experiencias. En especial a Juan Manuel Guerra Bouzas por facilitar la documentación de las piezas y a Marcos González González (director del MHN) y a María Isabel Fraga Vila (anterior directora del MHN) por haber impulsado y apoyado continuamente el desarrollo y aplicación de estas técnicas analíticas con fines de investigación y divulgación dentro del plan de colaboración científica iniciado en el año 2011 entre la RIAIDT y el MHN. *In Memoriam*: a María José Suárez Guerrero (1952-2019).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTELO, T., BUESO, M., GABALDÓN, A. & VEGA, C. (2008). 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, 25-37. ISBN 978-84-8181-359-3.
- A.U.S. *Serie Histórica*, Cartafol Biblioteca América, fols. 15-22 e 316.
- BIRD, M. I., ASCOUGH, P. L., YOUNG, I. M., WOOD, CH. V. & SCOTT, A. C. (2008). X-ray microtomographic imaging of charcoal. *Journal of Archaeological Science*, 35 (10): 2698-2706. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.04.018>.
- BONOGOFKY, M. (2002). Reassessing “dental Evulsion” in Neolithic plastered skulls from the Levant through the use of Computed Tomography, Direct Observation and Photographs. *Journal of Archaeological Science*, 29 (9): 959-964. <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0792>.
- BUGALLO RODRÍGUEZ, A. (1993). Parga Pondal, Isidro. *En*: Varios Autores. *Diccionario histórico das Ciencias e das Técnicas de Galicia*. 1868-1936, Sada-A Coruña, pp: 239-243.

- BUGALLO RODRÍGUEZ, A. (1995). *As coleccións da Biblioteca América. Catálogo da Exposición Gallaecia Fulget*, Setembro de 1995-Setembro de 1996. Santiago de Compostela.
- BUGALLO RODRÍGUEZ, Á., (2003). *O Museo de Historia Natural da Universidade de Santiago de Compostela*, Santiago. Universidade de Santiago-Parlamento de Galicia. Santiago de Compostela. 367 pp.
- BUGALLO RODRÍGUEZ, A. & SISTO EDREIRA, R. (1996). O Patrimonio Científico. *O Patrimonio Histórico da Universidade de Santiago de Compostela. Catálogo*. Servicio de Publicacións da Universidade de Santiago. Santiago de Compostela.
- CAPELLI, C., MACPHEE, R.D.E., ROCA, A., BRISIGHELLI, F., GEORGIADIS, N., O'BRIEN, S. J. & GERRNOOD, A. D. (2006). A nuclear DNA phylogeny of the woolly mammoth. (*Mammuthus primigenius*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 40: 620–627. DOI: [10.1016/j.ympev.2006.03.015](https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.03.015).
- CARLSON, K. J. & PICKERING, T. R. (2004). Shape-adjusted bone mineral density measurements in baboons: other factors explain primate skeletal element representation at Swartkans. *Journal of archaeological Science*, 31(5): 577-583. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2003.10.005>.
- EBEL, D. & RIVERS M. L. (2007). Meteorite 3-D synchrotron microtomography: Methods and applications. *Meteoritics & Planetary Science*, 42 (9): 1627-1646. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2007.tb00595.x>.
- FEHREM-SCHMITZ, L., KAPP, J., ZIEGLER, K. L., HARKINS, K. M.; ARONSEN, G. P. & CONLOGUE, G. (2016). An investigation into the effects of X-ray on the recovery of ancient DNA from skeletal remains. *Journal of Archaeological Science*, 76: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.10.005>.
- GARCÍA VARELA, A. (1928). Memoria-Estadística correspondiente al Curso 1927 a 1928. Santiago, Tip. Paredes.
- GOSTNER, P., PERNER, P., BONATTI, G., GRAEFEN, A. & ZINK, A. R. (2011). New radiological insights into the life and death of the Tyrolean Iceman. *Journal of Archaeological Science*, 38: 3425-3431. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.08.003>.
- GRABNER, M., SALABERGER, D. & OKOCHI, T. (2009). The need of High Resolution μ -X-ray CT in Dendrochronology and in Wood Identification. In: Proceedings of 6th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis. Salzburg: IEEE, pp: 349-352. <https://doi.org/10.1109/ISPA.2009.5297695>.
- GRECO, M. K., WELZ, P. M., SIEGRIST, M., FERGUSON, S. J., GALLMANN, P., ROUBIK, D. W. & ENGEL, M. S. (2011). Description of an ancient social bee trapped in amber using diagnostic radioentomology. *Insectes sociaux*, 58 (4): 487-494. <https://doi.org/10.1007/s00040-011-0168-8>.
- GRIESHABER, B.M., OSBORNE, D. L., DOUBLEDAY, A. F. & KAESTLE, F. A. (2008). A pilot study into the effects of X-ray and computed tomography exposure on the amplification of DNA from bone. *Journal of Archaeological Science*, 35 (3): 681-687. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.06.001>.
- HUISMAN, D. J., NGAN-TILLARD, D., TENSEN, M. A., LAARMAN, F. J. & RAEMAEKERS, D. C. M. (2014). A question of scales: studying Neolithic subsistence using micro CT scanning of midden deposits. *Journal of Archaeological Science*, 49: 585-594. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.05.006>.
- IGLESIAS IGLESIAS, L. (1956). Relación y descripción de los minerales de la “Colección Viqueira” del Museo de Historia Natural de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Santiago de Compostela. *Boletín Universitario Compostelano*, 64: 449-507. Santiago.
- IGLESIAS IGLESIAS, L. (1964). “Cátedras y Laboratorios de Biología e Instituto de Estudios Regionales y Portugueses”. *Memoria del Curso 1963-1964*.
- JUANES, D. (2010). La tomografía axial computerizada. Estudio de escultura de madera. In: DEL EGIDO, M. & JUANES, D. (Ed.) *La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica, Madrid. ISBN 978-84-8181-461-3. pp: 196-204.
- KLAUS, H. D., WILBUR, A. K., TEMPLE, D. H., BUIKSTRA, J. E., STONE, A. C., FERNÁNDEZ, M., WESTER, C. & TAM, M. E. (2010). Tuberculosis on the north coast of Peru: skeletal and molecular paleopathology of late pre-Hispanic and postcontact mycobacterial disease. *Journal of Archaeological Science*, 37 (10): 2587-2597. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.05.019>.

- KOURIS, K., TOUT, R. E., GILBOY, W. B. & SPYROU, N. M. (1981). Effect of constituent elements in wood on X-ray densitometry measurements. *Archaeometry*, 23 (1): 95-101. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1981.tb00959.x>.
- KREUTZER, L. A. (1992). Bison and deer bone mineral densities: Comparisons and implications for the interpretation of archaeological faunas. *Journal of Archaeological Science*, 19 (3): 271-294. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(92\)90017-W](https://doi.org/10.1016/0305-4403(92)90017-W).
- LAM, Y. M., CHEN, X., MAREAN, C. W. & FREY, C. J. (1998). Bone density and long bone representation in Archaeological Faunas: comparing results from CT and Photon Densitometry. *Journal of Archaeological Science*, 25 (6): 559-570. <https://doi.org/10.1006/jasc.1997.0256>.
- LAM, Y. M., PEARSON, O. M., MAREAN, C. W. & CHEN, X. (2003). Bone density studies in zooarchaeology. *Journal of Archaeological Science*, 30 (12): 1701-1708. [https://doi.org/10.1016/S0305-4403\(03\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0305-4403(03)00065-7).
- LANTES-SUÁREZ, O. & PRIETO-MARTÍNEZ, P. (2017a). Técnicas de imagen de rayos X y arqueología. Estado de la cuestión y potencialidad de la técnica. *Antrope*, 7: 1-25. Centro Transdisciplinar das Arqueologias, Instituto Politécnico de Tomar.
- LANTES-SUÁREZ, O. & PRIETO-MARTÍNEZ, P. (2017b). Primeras aplicaciones arqueológicas y museísticas en Galicia de tomografía computerizada de rayos X. *O Ideario Patrimonial*, 9: 1-33. Centro Transdisciplinar das Arqueologias, Instituto Politécnico de Tomar.
- LENGUAS, A. L., ORTEGA, R., SAMARA, G. & LÓPEZ, M. A. (2010). Tomografía computerizada de haz cónico. Aplicaciones clínicas en odontología; comparación con otras técnicas. *Científica Dental*, 7 (2): 147-159.
- LISTERA A. M. & SHER, A. V. (2001). The Origin and Evolution of the Woolly Mammoth. *Science* 294 (5544): 1094-1097. <https://doi.org/10.1126/science.1056370>.
- LÓPEZ-POLÍN, L., OLLÉ, A., CÁCERES, I., CARBONELL, E. & BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M. (2008). Pleistocene human remains and conservation treatments: the case of a mandible from Atapuerca (Spain). *Journal of Human Evolution*, 54 (5): 539-545. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2007.07.011>.
- MARTÍNEZ CATALÁN, J. R., PABLO MACIÁ, J. G. DE., RUIZ GARCÍA, M. T., CALVO PÉREZ, B., PÉREZ GONZÁLEZ, A. & HUERGA RODRÍGUEZ, A. (1980). *Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 124 (8-8, Sarria). Segunda serie, Primera edición*. Publicaciones del I.G.M.E, Madrid.
- MENA, A., AGUIAR, P., BARREIRO, J.D., FRANCÉS, G., IGLESIAS, A. & BARREIRO, A. (2012). Identificación y reconocimiento de los Eventos de Heinrich en testigos de la Cuenca Interior de Galicia (NW Península Ibérica) usando datos de Tomografía Computerizada: aplicación del programa anidoC. *Geotemas*, 13 (1): 214-217.
- METEORITE. 2019. Chemical Classification of Iron Meteorites <http://www.meteorite.fr/en/classification/ironchem.htm>. Consultado el 24 de julio de 2019.
- MIZUNO, S., TORIZU, R. & SUGIYAMA, J. (2010). Wood identification of a wooden mask using synchrotron X-ray microtomography. *Journal of Archaeological Science*, 37 (11): 2842-2845. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.06.022>.
- MORIGI, M. P., CASALI, F., BETTUZZI, M., BRANCACCIO, R. & D'ERRICO, V.D. (2010). Application of X-ray Computed Tomography to Cultural Heritage diagnostics. *Applied Physics A*, 100: 653-661. DOI 10.1007/s00339-010-5648-6.
- NATTERER, F. & RITMAN, E. L. (2002). Past and future directions in x-ray computed tomography (CT). *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 12 (4): 175-187. <https://doi.org/10.1002/ima.10021>.
- O'CONNOR, S., ALI, E.; AL-SABAH, S., ANWAR, D., BERGSTRÖM, ED., BROWN; K. A., BUCKBERRY, J., BUCKLEY, S., COLLINS, M., DENTON, J., DORLING, K. M., DOWLE, A., DUFFEY, P., EDWARDS, H. G. M., FARIA, E. C., GARDNER, P., GLEDHILL, A., HEATON, K., HERON, C., JANAWAY, R., KEELY, B. J., KING, D., MASINTON, A., PENKMAN, K., PETZOLD, A., PICKERING, M. D., RUMSBY, M., SCHUTKOWSKY, H., SHACKLETON, K. A., THOMAS, J., THOMAS-OATES, J., USAI, M. R., WILSON, A. S. & O'CONNOR, T. (2011) Exceptional preservation of a prehistoric human brain from Heslington, Yorkshire, UK. *Journal of Archaeological Science*, 38 (7): 1641-1654. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.02.030>.

- OKOCHI, T., HOSHINO, Y., HIROYUKI, F. & MITSUTANI, T. (2007). Nondestructive tree-ring measurements for Japanese oak and Japanese beech using micro-focus X-ray computed tomography. *Dendrochronologia*, 24: 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2006.10.010>.
- OTERO-SHMITT, J. J. (1986). *Colección Malacológica Adriano López Morillo. Revisión taxonómica y biogeográfica*, Memoria de Licenciatura da Facultad de Biología, Universidad de Santiago.
- PAREDES, U. M., PRYS-JONES, R., ADAMS, M., GROOMBRIDGE, J., KUNDU, S., AGAPOW, P. M. & ABEL, R. L. (2012). Micro-CT X-rays do not fragment DNA in preserved bird skins. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 50 (3): 247-250. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2012.00657.x>.
- PÉREZ BUSTAMANTE, C. & GONZÁLEZ GARCÍA-PAZ, S. (1934). La Universidad de Santiago (El Pasado y el Presente). Santiago, Publicaciones del Instituto de Estudios Regionales.
- PÉREZ-RAMOS, A., KORNIUS KUPCZIK, K., H. VAN HETERENC, A., RABEDER, G., GRANDAL-D'ANGLADE, A., PASTOR, F. J., SERRANO, F. J. & FIGUEIRIDO, B. (2018). A three-dimensional analysis of tooth-root morphology in living bears and implications for feeding behaviour in the extinct cave bear. *Historical Biology*, 31: 461-473. <https://doi.org/10.1080/08912963.2018.1525366>.
- REICHE, I., MÜLLER, K., STAUDE, A., GOEBBELS, J. & RIESEMEIR, H. (2011). 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*, 24: 1802-1812. <https://doi.org/10.1039/C0JA00246A>.
- RIDGELY, R. S. & GWYNNE, J. A. (1989). *A guide to the Birds of Panama with Costa Rica, Nicaragua, and Honduras*, Princeton, Princeton University Press.
- ROTH V. L. 1992. Quantitative Variation in Elephant Dentitions: Implications for the Delimitation of Fossil Species. *Paleobiology* 18 (2): 184-202. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0094837300013968>.
- SAMARTIN CORNES, M^aC. (1982). Museo de Historia Natural "Luis Iglesias". Sección de Minerales. Santiago, Secretariado de Publicacións da Universidade de Santiago.
- SICK, H. (1993). *Birds in Brazil*. Princeton, Princeton University Press.
- SIMONOV, E. N. (2004). Physical Problems of Medical Computer X-Ray Tomography. *Biomedical Engineering*, 38 (4): 170-175. ISSN 0006-3398.
- STUART A. J. (2005). The extinction of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) and straight-tusked elephant (*Palaeoloxodon antiquus*) in Europe. *Quaternary International* 126-128: 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.04.021>.
- STUART A. J., SULERZHITSKY, L. D., ORLOVA, L. A., KUZMIN, Y. V. & LISTER, A. M. (2002). The latest woolly mammoths (*Mammuthus primigenius* Blumenbach) in Europe and Asia: a review of the current evidence. *Quaternary Science Reviews* 21 (14-15): 1559-1569. [https://doi.org/10.1016/s0277-3791\(02\)00026-4](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(02)00026-4).
- THE METEORITICAL SOCIETY. (2019). <http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=5277>. Página consultada el 09/07/2019.
- TODD, N. E. (2010a). New Phylogenetic Analysis of the Family Elephantidae Based on Cranial-Dental Morphology. *The Anatomical Record Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, 293: 74-90. <https://doi.org/10.1002/ar.21010>.
- TODD N. E. (2010b). Qualitative Comparison of the Cranio-Dental Osteology of the Extant Elephants, *Elephas maximus* (Asian Elephant) and *Loxodonta africana* (African Elephant). *The Anatomical Record Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, 293 (1): 62-73. <https://doi.org/10.1002/ar.21011>.
- TORRE ENCISO, E. (1962). Hallazgo de dos molares de mamut (*Elephas primigenius*) en una cantera de Buján, provincia de Lugo. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 65: 111-118.
- VAINBERG, E. I., KALINCHEV, A. & SVIRIDOVA, Z. I. (1985). Comparing the effectiveness of radiography and x-ray computer tomography for controlling low-density ceramics. *Refractories and Industrial Ceramics*, 26 (3-4): 199-202.
- VAN DER LINDEN, V., VAN DE CASTEELE, E., THOMAS, M. S., DE VOS, A., JANSSEN, E. & JANSSENS, K. (2010). Analysis of microcomputed tomography images: a look inside historic enamelled metal

objects. *Applied Physics A*, 98: 385-392. <https://doi.org/10.1007/s00339-009-5394-9>.

YANG, Y., YANG, M., XIE, Y. & WANG, C. (2011). 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 37th International Symposium on Archaeometry*. ISBN 978-3-642-14677-0. Berlin: Springer-Verlag, 2011. Part 10, pp: 575-578.