



Nº 11 • 2025
ISSN 2444-121X

EL ENIGMA DEL MATERIAL: CASO CONCRETO: LA PROBLEMÁTICA DEL ANÁLISIS MORFOLÓGICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE EN UNA PLACA DE MARFIL

Ana Paula Castro Jiménez

Licenciada en Historia del Arte. Investigadora de la USC grupo Iacobus anacastrojim@gmail.com

Marina García Carrión

Doctora en Física. Especialista en Materiales Avanzados marina.gcarrion@gmail.com

Jaime Granados Gil

Ingeniero de materiales. Máster en ingeniería y gestión ambiental jaimegradosgil@gmail.com

• Fecha de recepción: 03-09-2024 - Fecha de aceptación: 26-05-2025 • Pags. 201 - 229

• <https://doi.org/10.46255/add.2025.11.190>

RESUMEN

Estudio de una pieza en marfil del Museo Nacional de Artes Decorativas de Madrid analizando la procedencia de su material, además de su función e iconografía. El objetivo es dar contexto a la posible identificación del animal del que procede la pieza analizando las líneas de Schreger para conocer si trata de una pieza realizada en marfil de mamut o de elefante.

A partir de un primer análisis visual, se hace un desarrollo de las particularidades del patrón según animal y la diferencia existente entre especies. Se llega a una conclusión de que no es suficiente un análisis iconográfico y morfológico para su identificación y debe de complementarse con otros métodos técnicos analíticos como la espectroscopía Raman portátil, con longitud de onda de excitación de 758nm. Se observan las principales bandas de marfil en espectros Raman, destacando la centrada en 1070 cm^{-1} que permite la diferenciación de marfiles de elefante africano, asiático y mamut.

PALABRAS CLAVE: marfil; eboraria; Schreger; crecimiento marfil; marfiles por especies; espectroscopía Raman.

THE ENIGMA OF THE MATERIAL. CASE STUDY: THE PROBLEM OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS FOR THE IDENTIFICATION OF THE SPECIES ON AN IVORY PLATE

ABSTRACT

Study of an ivory piece from the National Museum of Decorative Arts in Madrid, analysing the origin of its material, in addition to its function and iconography. The objective is to give context to the possible identification of the animal from which the piece comes by analysing the Schreger lines to know if it is a piece made of mammoth or elephant ivory.

From a first visual analysis, a development of the particularities of the pattern according to animal and the difference between species is made. A conclusion is reached that an iconographic and morphological analysis is not sufficient for its identification and must be complemented with other technical analytical methods such as portable Raman spectroscopy, with an excitation wavelength of 758nm. The main ivory bands are observed in Raman spectra, highlighting the one centered at 1070 cm^{-1} that allows the differentiation of African, Asian and mammoth elephant ivories.

KEY WORDS: ivory; eboraria; Schreger; ivory growth; ivory species; Raman Spectroscopy.

EL ENIGMA DEL MATERIAL: CASO CONCRETO: LA PROBLEMÁTICA DEL ANÁLISIS MORFOLÓGICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE EN UNA PLACA DE MARFIL¹

Ana Paula Castro Jiménez

Licenciada en Historia del Arte. Investigadora de la USC grupo Iacobus

Marina García Carrión

Doctora en Física. Especialista en Materiales Avanzados

Jaime Granados Gil

Ingeniero de materiales. Máster en Ingeniería y gestión ambiental

1.- INTRODUCCIÓN

Tras años de investigación en el análisis de piezas de marfil talladas se ha podido comprobar que es un material poco estudiado en cuanto a su procedencia y las características morfológicas, en detrimento de estudios referentes al estilo artístico e iconografía.

El marfil de elefante y el marfil de mamut tienen una apariencia muy similar y esta similitud entre ambos complica en gran medida su correcta identificación en general y, de manera específica, en lo referente a su legislación. Cuando la pieza se presenta en bruto o es de un tamaño bastante grande puede conservar partes exteriores (cemento) o adecuación del corte a la forma original del colmillo y se plantea una identificación del animal más o menos sencilla. Sin embargo, cuando se trata de piezas muy talladas o de pequeño tamaño se necesitan métodos alternativos para dicha identificación.

Existe una metodología de identificación morfológica ampliamente difundida y no invasiva de análisis del material basada en el estudio de las intersecciones de las líneas de crecimiento y midiendo los ángulos cóncavos y convexos que forman dichas intersecciones.

El desarrollo de esta investigación parte de una clara innovación con respecto al análisis de piezas talladas en marfil aplicando un estudio avanzado basado en espectroscopía Raman portátil, con longitud de onda de excitación de 758nm para llegar a diferenciar marfil de elefante africano, asiático y mamut, con el objetivo de identificar de manera concreta la procedencia de la especie de la pieza estudio y, con ello, aplicar la legislación vigente según la protección que tenga en ese momento.

Se lleva a cabo aquí un estudio específico que aporta una visión interrelacionada entre ciencia y arte/patrimonio. Analiza específicamente piezas patrimoniales realizadas con material natural, marfil, y aborda un contenido importante con respecto a la creación, identificación y posterior protección de objetos realizados con este material.

2- ANÁLISIS GENERAL DE LA PIEZA Y PUNTO DE PARTIDA

En el análisis tomamos como punto de partida el estudio de un relieve de marfil *María Magdalena* (Fig. 1), catalogada en el Museo Nacional de Artes Decorativas de Madrid con el número de inventario CE1480 y clasificada genéricamente como “eboraria, objetos e imágenes devocionales, relieve”; material: “marfil tallado” y descrita de la siguiente manera:

“Placa de marfil blanco, brillante y de gran calidad, a la que le falta un fragmento, decorada con el relieve de María Magdalena. La santa, representada de medio cuerpo con halo macizo y larga cabellera, va vestida con manto sobre el hombro izquierdo que recoge con una corta y bien modelada mano derecha, dejando ver el busto. De rasgos muy achinados, sus largos cabellos trabajados en hilos caen por delante disimulando el desnudo. Está sentada ante una mesa sobre la que hay un libro, una calavera y las disciplinas, y en otra mesa situada a su izquierda aparece representado un jarro. La placa presenta dos inscripciones en latín en letras capitales y sincopadas, la inferior con el nombre de la Santa, y la superior, incompleta por faltar un fragmento de la placa, alusiva a su dedicación a la penitencia. Presenta restos de policromía en dorado”.

La placa o relieve realizada en marfil tallado titulada *María Magdalena Penitente*, está fechada entre 1601 y 1700 y procedente de Filipinas (Asia). La pieza presenta dos inscripciones en la parte inferior del marco en letras capitales “S.MR. MGDAENA”, mientras que, en la parte superior del marco, también en letras capitales “[...] VMSPECMVM PENITENTIA”.

La clasificación razonada dada por el Museo sería la siguiente: “La manera de trabajar el pelo y los ojos identifican la pieza como un marfil colonial, hispanofilipino, del siglo XVII. BIBLIOGRAFÍA: Exp. *La mujer en la medalla*, Madrid, 1968, p. 139, núm. cat. 636 [10907]; ESTELLA MARCOS, M. M., *La escultura de marfil en España. Escuelas europeas y coloniales*, Madrid, CSIC, 1984, vol. II, núm. cat. 770, pp. 334-335”.



Figura 1

Escuela hispano-filipina.
María Magdalena penitente.
h. 1601-1700. Relieve de marfil.
Museo Nacional
de Artes Decorativas,
inv. CE1480.

Dicha catalogación aparece referenciada a las autoras Margarita Mercedes Estella Marcos y Mercedes Simal López².

La pieza a analizar no está expuesta en la actualidad de manera pública en las instalaciones del museo y, únicamente, se puede consultar mediante acceso en depósito.

La protección que puede presentar la pieza en la actualidad sería necesariamente la referente al museo al que pertenece con respecto a su colección si bien para intercambio, préstamo (nacional o internacional) y posible transacción con otra entidad estaría sujeta a la legislación vigente con respecto a las particularidades exigibles a piezas realizadas con especies (o partes) amenazadas de fauna y flora silvestres. Hay que tener en cuenta que, en cuanto al material del que procede la pieza, marfil, las consideraciones para su protección dependen en gran medida del animal al que pertenezca según la CITES³ y los condicionantes que afecten a la pieza en concreto (datación, localización, importancia histórico-artística, etc)⁴.

3- DATACIÓN E ICONOGRAFÍA

El relieve titulado por el museo *Placa de Magdalena en marfil* es una obra marcada por la fuerza emocional de la mujer sola, con lágrimas cayendo por las mejillas, la mirada elevada al cielo y la mano abierta y apretada contra el pecho y tocándose el cabello representando la imagen perfecta de un alma atribulada. Analizando la imagen podemos apreciar que, tanto la figura como el paisaje aparecen condicionados por la forma de la pieza, siendo éste un bajo relieve. Presenta una actitud frontal y un escaso dinamismo, tanto de la propia figura como la disposición de la gruta la calavera, el libro o el jarro de ungüentos⁵, presentados en plano sobre la superficie sin profundidad de manera completamente arcaica. Hay que tener en cuenta que en este tipo de piezas se exige por un lado el dominio de la técnica de composición y, por otro, el conocimiento del tema a reproducir. Este tipo de relieves cumplen un objetivo devocional tomando como fuente inspiradora grabados anteriores y desarrollados en forma de trípticos o pequeños altarcillos portátiles, si bien las reinterpretaciones artísticas y plásticas generales de la estampa por parte del autor son muy habituales.

Los relieves conforman una tipología ampliamente empleada ya que la función religiosa de las imágenes no se reducía a simple ornato de las iglesias si no que existían pequeñas obras de menor tamaño con una función específica de instruir. Los relieves como la pieza a analizar cumplieron mejor que las grandes tallas esta función, pues era más fácil la interpretación de temas más complicados y mucho más cómodo su transporte.

María Magdalena (siglo I) fue discípula de Jesús de Nazaret y pertenece al grupo de mujeres que ayudó a Cristo y a sus discípulos gracias a su posición económica acomodada. Se convertiría en seguidora incondicional de Jesucristo siendo el primer testigo de la resurrección, recibiendo el encargo de anunciar a los apóstoles lo que había presenciado. Por ello, el cristianismo primitivo siempre vería en ella un modelo de discipulado que perduró en la memoria de las nuevas comunidades cristianas, además de jugar un papel importante en la expansión de la nueva fe⁶.

La escena representa a María Magdalena cuando se retira a la cueva de Sainte-Baume (o del Santo Bálsamo) en la Provenza (Francia) movida por su deseo de contemplación, aunque posteriormente será identificada esta imagen como un acto en el que la santa expía sus pecados. En el siglo XV y la primera mitad del siglo XVI Magdalena aparece como la representación de la *vanitas* y su figura una imagen para las damas a no caer en el pecado. Conforme avanza el tiempo su figura se asocia cada vez más hacia el simbolismo de pecadora y sus rasgos positivos son asumidos de manera progresiva por la propia Virgen. Se representa entonces como una “ermitaña” y desde la Contrarreforma (Concilio de Trento 1545-63) aparecerán un mayor número de representaciones de Magdalena haciendo penitencia en la cueva de Sainte-Baume⁷.

La figura de la Santa aparece acompañada en la escena de la calavera de Vanitas como recuerdo de la muerte y de la fugacidad de la vida, asociada a la idea de redención representada por la Crucifixión y con el breviario abierto a su lado -sin texto asociado-. Aquí



Figura 2A

Detalle central de la placa. María Magdalena penitente.
Relieve de marfil.
Museo Nacional de Artes Decorativas,
inv. CE1480.

María Magdalena se presenta sin velo como símbolo de pecadora, pero a la vez, reconocida como santa ya que aparece nimbada con una aureola, como convertida. Aunque siempre que se representa a un santo ermitaño el nimbo desaparece en el caso de María Magdalena sigue apareciendo. Esta visión de la santa como penitente en la cueva se convertirá en una imagen devocional de referencia y será una de las preferidas de los siglos XVI y XVII⁸.

En la imagen de detalle de la pieza (Fig. 2A) podemos apreciar que la figura presenta rasgos típicos hispano-filipinos como son la cara redondeada y la frente despejada o los ojos cerrados resaltados por voluminosos párpados. Presenta una nariz recta y una boca perfilada y bien definida. El largo cabello se divide desde el centro en mechones finos tallados en hilos delgados que caen de manera armónica sobre los hombros tapando por completo las orejas. Encontramos claras similitudes en la manera de trabajar el cabello entre esta Virgen y las imágenes de las vírgenes de procedencia hispano-filipina⁹.

Hay que recordar que el cabello suelto es asociado al imaginario cristiano de las vírgenes que eran las únicas que podían llevarlo de esa manera. El cabello es claramente asociado a la sexualidad y al poder de manera directa o indirecta como nos recuerda la historia de Sansón o la humillación que significaba para las mujeres pecadoras que les cortasen el pelo¹⁰. Así mismo, el pelo suelto remite a la condición de salvaje que se debe exigir a cualquier ermitaño.



Figura 2B

Parte trasera.
María Magdalena penitente.
 pieza estudio núm. inv. CE1480.
 Museo Nacional
 de Artes Decorativas,
 inv. CE1480.

La santa presenta en esta imagen una túnica de aspecto sosegado que cae con pliegues paralelos, adaptándose a la forma del material. La mano izquierda, con la que se atusa el cabello, es completamente desproporcionada, de dedos largos y rectos sin sensibilidad anatómica; característica que encontramos en otras santas coloniales como la figura de santa Rosa de Lima recogida por Casado Paramio¹¹.

Así mismo, aunque no se puede considerar una representación iconográfica muy recurrente en eboraria, encontramos algunos ejemplos de María Magdalena en placas de marfil o relieves tanto en piezas de origen hispano-filipino como en ejemplos indo-portugueses “santa María Magdalena” recogidas en colecciones portuguesas¹².

A la hora de analizar la iconografía de esta santa en ejemplos hispano filipinos del siglo XVII, hay que tener presente que se encuentran más ejemplares de los denominados “santos secundarios” en talla de madera ya que se reservaba el marfil (tanto en talla como en relieve), por su calidad y precio, para el desarrollo de piezas con Cristo, la Virgen o el niño Jesús. Se representan santas como santa Bárbara, santa Catalina de Alejandría, santa Rosa de Lima o santa Clara, si bien son escasos ejemplares que no permiten delimitar como tal grupos iconográficos.

En la parte trasera (Fig. 2B) podemos ver que la pieza presenta dos oquedades de pequeño tamaño en la zona superior central, muy posiblemente empleadas para poder introducir una cuerda fina para ser colgada de alguna superficie o altar portátil.

La pieza aparece datada en el catálogo del Museo Nacional de Artes Decorativas de Madrid en el siglo XVII. La cronología se plantearía, necesariamente, posterior a 1566 referenciada al grabado de Cornelio Cort (Fig. 3)¹³.

Dicho grabado aparece titulado, según los datos recogidos en la Biblioteca Nacional, como “La Magdalena de medio cuerpo”, realizado a buril por Cornelio Cort en 1566 como copia de una obra de Tiziano (h. 1488-1576) conservada en el Hermitage de San Petesburgo (en sentido inverso)¹⁴. El óleo original aparece titulado, sin embargo, como “Magdalena arrependida” y fechado hacia 1560¹⁵.

Hay que tener en cuenta que gracias a esta tipología de relieves elaborados en marfil se puede conocer la historia de la evangelización en las Islas Filipinas, ya que las órdenes religiosas consideraban las Islas como la base de operaciones estables para la conquista espiritual del Oriente. Por lo tanto, era necesario procurarse medios

Figura 3

Cornelis Cort.
 Estampa con la
 representación de
 María Magdalena
 penitente (basada en una
 composición de Tiziano).
 1566.

Wellcome Collection.
 Imagen de dominio público
 (Fuente: Wellcome Collection).



de información válidos para los distintos pueblos que habitaban las Islas a la vez con diferentes culturas. Para la explicación del dogma, era imprescindible, además de los textos (traducidos al idioma autóctono) una información gráfica para los pueblos no ilustrados que desconocían los temas o plantean deficiente grado de instrucción. En el siglo XVI aparecen de manera habitual libros con ilustraciones divulgando los textos sagrados donde España e Italia jugarán un papel muy importante.

Los grandes pintores flamencos serán los encargados de proporcionar los dibujos a los talleres de edición de libros y sus grabadores proporcionan estampas religiosas a toda Europa enviadas a regiones católicas (obtenidas del Evangelio) o protestantes (inspiradas en el Antiguo Testamento). La atracción por el trabajo italiano hace viajar a los artistas a esta zona donde encuentran nuevos modelos, así por ejemplo Cort¹⁶ y Sadeler¹⁷ visitan Venecia y copian dibujos de Zuccaro¹⁸ que serán posteriormente ampliamente difundidos. Son numerosos los ejemplares de textos sagrados con estampas editados en Italia que, posteriormente, salen de imprentas españolas. La influencia de los grabados se realizaría a través de estas estampas realizadas por distintos grabadores de la época con una importante llegando a Filipinas y Oriente con relieves de marfil inspirados directamente en estas ilustraciones¹⁹.

Se puede plantear, por lo tanto, una cronología necesariamente posterior a 1566 para la imagen estudiada por la existencia anterior del grabado original pero cercana al s. XVII por las formas, estilo y características estilísticas.

4- REFERENCIA AL MATERIAL O SOPORTE

Como se indica en la ficha catalográfica del Museo se trata de una placa rectangular realizada en “marfil blanco, brillante y de gran calidad” si bien no se indica el animal del que procede de manera específica. Se puede observar que a la pieza le falta un fragmento importante en la esquina superior izquierda que llega hasta pasado el centro geométrico de la pieza. Podemos ver que presenta otro color y, puede ser útil para analizar la fecha de la fractura y corroborar la procedencia del material, así como su posible datación.

Como vemos en la catalogación y, como es habitual en los manuales y libros de arte que analizan piezas realizadas con este material, la palabra “marfil” se aplica tradicionalmente sólo para referirse a los colmillos de los elefantes, sin especificar el animal y planteado únicamente en la catalogación como “marfil” asociado de manera directa a este animal. Sin embargo, la estructura química de los dientes y colmillos de los mamíferos es la misma independientemente de la especie de origen, por lo que el término “marfil” se puede aplicar correctamente a cualquier diente o colmillo de mamífero de interés comercial que sea lo suficientemente grande para ser tallado o grabado.

Debido a la forma de crecimiento del material (colmillo) desde el cráneo hacia el exterior, cuando el marfil se deteriora por excesiva sequedad o, como puede ser en

este caso, por antigüedad, el material tiende a abrirse en líneas porque pierde materia orgánica y agua y se fractura como ocurre en esta placa. Por ello, encontramos que esta placa presenta, sobre todo en los extremos, una serie de líneas de longitud y grosor variable que se aprecian de color oscuro debido a la pátina y a los posibles depósitos que se hayan adherido al material.

La estructura interna del material orgánico es normalmente delicada a los cambios de temperatura y humedad, derivando en un cambio importante de color y produciéndose este tipo de fracturas en piezas de marfil tanto en bruto como en este caso, en piezas trabajadas²⁰.

Estas grietas o fracturas, de mecanismo similar a la madera, se producen por las continuas alternativas de humedad y temperatura. Son difíciles de imitar y signos muy fidedignos de antigüedad, aunque desmerezcan en mayor o menor grado la pureza del marfil.

5- IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE MARFIL DE ELEFANTE Y MAMUT:

Los elefantes modernos existentes y lo que denominamos sus parientes extintos, mamuts y mastodontes, entre otros, son agrupados por biólogos y paleontólogos en la orden Proboscidea. El marfil de proboscídeo más común en el comercio de fauna silvestre proviene de los dos incisivos superiores de los elefantes existentes. El comercio internacional y nacional de marfil de elefante africano y asiático (*Loxodonta africana* y *Elephas maximus* respectivamente) está muy reglamentado y actualmente en muchos casos es ilegal debido a las prohibiciones basadas en la legislación nacional o en la inclusión en los apéndices de la CITES²¹. Hay que tener en cuenta que el mamut, animal extinto, está excluido de las restricciones sobre comercio de fauna y flora a nivel mundial como material. Los mamuts vivieron en el Pleistoceno y se extinguieron hace unos 8.000-10.000 años.

Las piezas talladas realizadas en mamut son más comunes de lo que puede parecer, ya que se lleva comerciando con este material desde hace cientos de años. Según Espinoza y Mann, desde 1809 hasta 1910 en Siberia se extrajeron cerca de 6.000 toneladas de colmillos de mamut y en los últimos 350 años aproximadamente 7.000 toneladas han sido importadas a China²².

En ocasiones se han utilizado piezas de marfil de mamut para imitar el aspecto, color y textura de la talla imitando las grietas para que parezcan piezas más antiguas, si bien presentan un relieve extrañamente acusado y unas características propias del paso del tiempo, pero es complicado llegar a una conclusión si un análisis exhaustivo, ya que dependerá también en gran medida de los agentes externos que han afectado a la pieza de manera directa²³. Hay que tener en cuenta que la coloración depende de la calidad del marfil y de su evolución natural, modificada por condiciones de humedad y exposición a la luz.

- Identificación: líneas de Schreger:

Una manera de determinar si un objeto de marfil tallado como en este ejemplo procede de una fuente proboscidea es analizar la presencia de un rasgo morfológico de diagnóstico que se observa en las secciones transversales de marfil de elefante y mamut denominadas “líneas de Schreger”. Son unas líneas curvilíneas que se aprecian en el material que fueron denominadas por primera vez por Gottlob Schreger en el 1800 y por Espinoza y Mann (1993) como “patrón de Schreger” quienes dividieron los ángulos de Schreger formados por la intersección de las líneas de Schreger en dos grupos principales: ángulos internos y ángulos externos²⁴. El cruce de estas líneas forma varios ángulos externos e internos llamados “ángulos de Schreger”, término actualmente aceptado por todos los autores (Fig. 4).

La principal característica distintiva que encontramos y que nos hace diferenciar el animal del que procede la pieza es que los ángulos exteriores son mayores en los elefantes actuales que en los mamuts²⁵.

En la pieza a analizar, tanto en la zona fracturada como en los cantos laterales y superior e inferior (corte transversal) se pueden apreciar claramente las “líneas de Schreger”²⁶. Los canales irradian de la cavidad de la pulpa y se inclinan oblicuamente hacia la punta, unos en lo que sería el sentido de las agujas del reloj y otros en sentido contrario. Estas líneas continuas, perceptibles en el corte transversal, se visualizan como bandas alargadas paralelas con un cambio de color entre ellas de blanco más claro o color crema más oscuro.

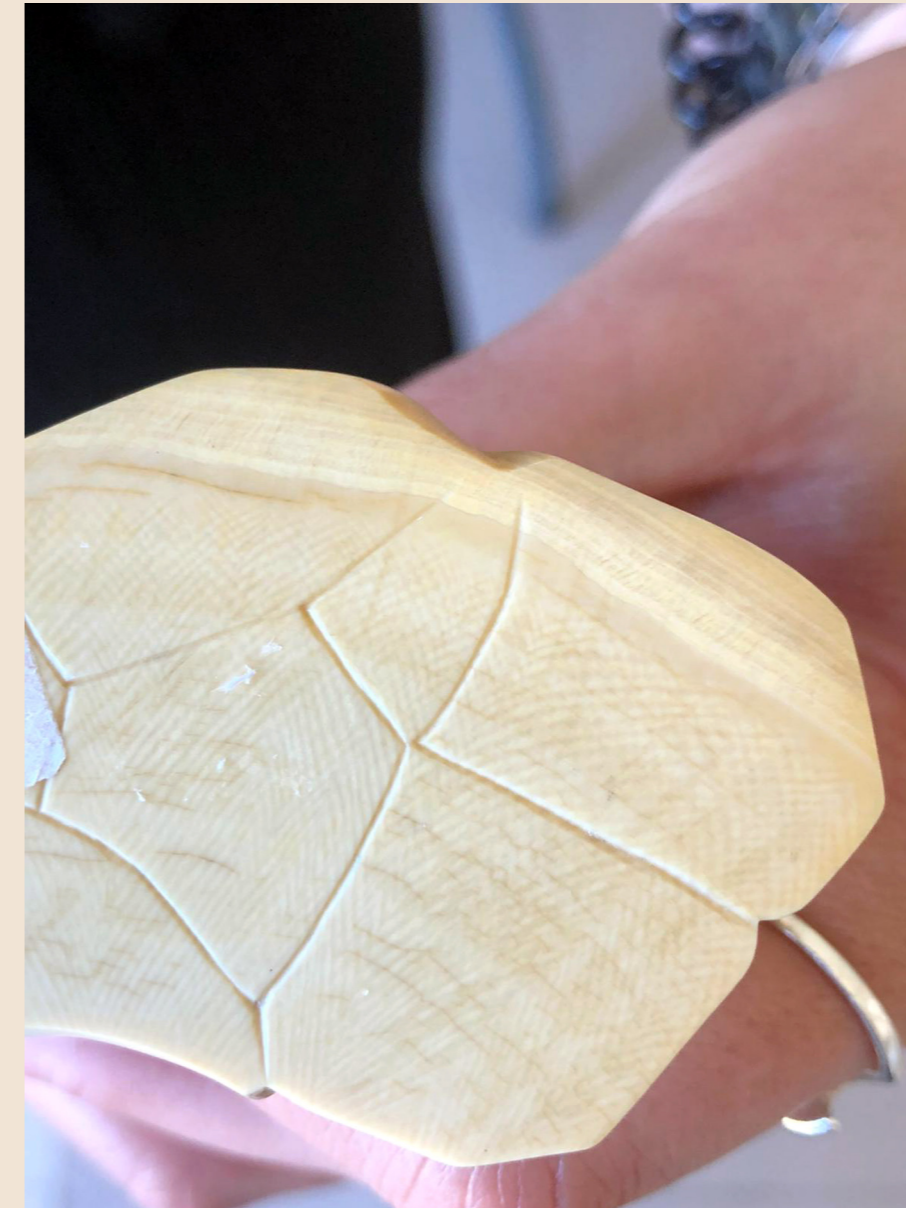
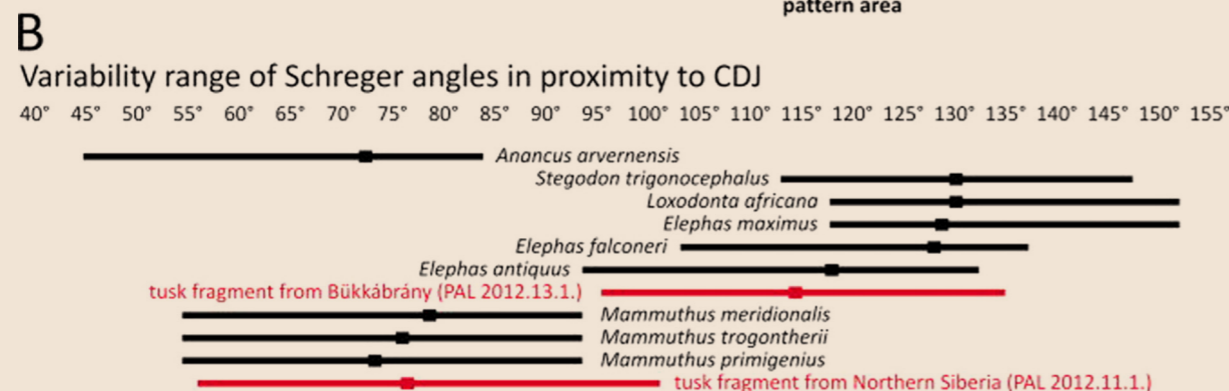
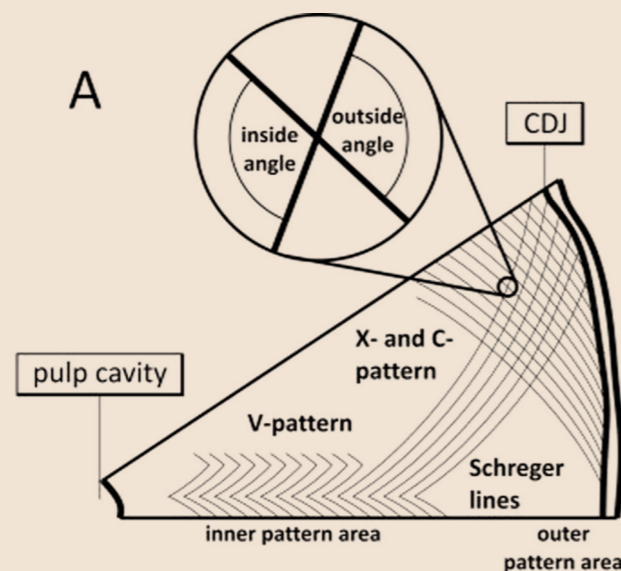


Figura 5
Detalle de la base de una pieza realizada en marfil de mamut donde se aprecian claramente las líneas y ángulos de Schreger desde el centro hasta la zona exterior (cemento).
Imagen de los autores.

Figura 4

Attila Virág.
Histogénesis de la morfología única del marfil de los proboscídeos.
tomado de Attila Virág,
“Histogenesis of the Unique Morphology of Proboscidean Ivory”,
Journal of Morphology, vol. 273,
núm. 12, 2012, fig. 10
[Con permiso para su publicación en ERPH].



La amplitud de los ángulos de las figuras en forma de romboides aumenta desde el área central hacia la periférica del colmillo y las diferentes tasas crecientes permitirían discriminar los taxones entre la procedencia del material de elefante o de mamut. En la imagen (Fig. 5) podemos observar que, en el caso del mamut, estas líneas convexas que se cortan son más finas y están más juntas unas de otras, haciendo más estrechos y largos los ángulos entre ellas.

Según los últimos estudios y siguiendo la Guía de identificación de la CITES del marfil y sus sustitutos de la World Wildlife Fund (WWF) tomada como base para la identificación general piezas de marfil, se plantea como medida estándar que los elefantes modernos exhiben un promedio de “ángulo de Schreger” superior a 100°, mientras que el promedio de los mamuts es inferior a 100°. Por lo tanto y, según esta guía, si el promedio de los ángulos medidos es mayor que 100° y el estado taxonómico de la dentina no muestra degradación, es razonable plantear que el objeto proviene de un elefante, pero si el promedio de los ángulos medidos es menor que 100°, es razonable plantear que ese objeto proviene de un mamut.

6.- PROBLEMÁTICA DE LA SECCIÓN DEL CORTE DE LA PIEZA EN EL COLMILLO:

Para el análisis de la pieza se realizaron fotografías de detalle de su intersección lateral que es, según la disposición de la misma, donde se pueden apreciar claramente los ángulos de entrecruzamiento de las “líneas de Schreger”.

Según el análisis de las guías de consulta sobre patrón Schreger más habituales, la diferenciación de la amplitud de los ángulos es más o menos sencilla, siempre y cuando se hagan distintas mediciones en una misma pieza. Sin embargo, tras los análisis llevados a cabo en distintas piezas artísticas se plantea que el verdadero problema es que las mediciones que aparecen en las guías y libros de consulta se hacen con una sección horizontal del colmillo, normalmente completa y en pieza en bruto, por lo que dichas mediciones son mucho más sencillas de realizar, ya que se aprecian los ángulos de manera clara y, por la disposición y tipo de corte, permiten llevar a cabo varias mediciones en una misma sección.

En un estudio del material en una pieza tallada, donde el colmillo se orada y la pieza se articula en distintos planos tanto horizontales como verticales, dichas mediciones pueden resultar realmente complicadas. Además, en muchas ocasiones en las piezas talladas no encontramos una sección en donde aparezca dicho entrecruzamiento, si no, únicamente la sección lateral de crecimiento visible únicamente por un cambio de tonalidad donde no hay posibilidad de medir dichos ángulos.

Vemos en la imagen (Fig. 6) que es necesario un análisis gráfico detallado para poder conocer la dirección de los ángulos según la ubicación y corte de la pieza en el colmillo.

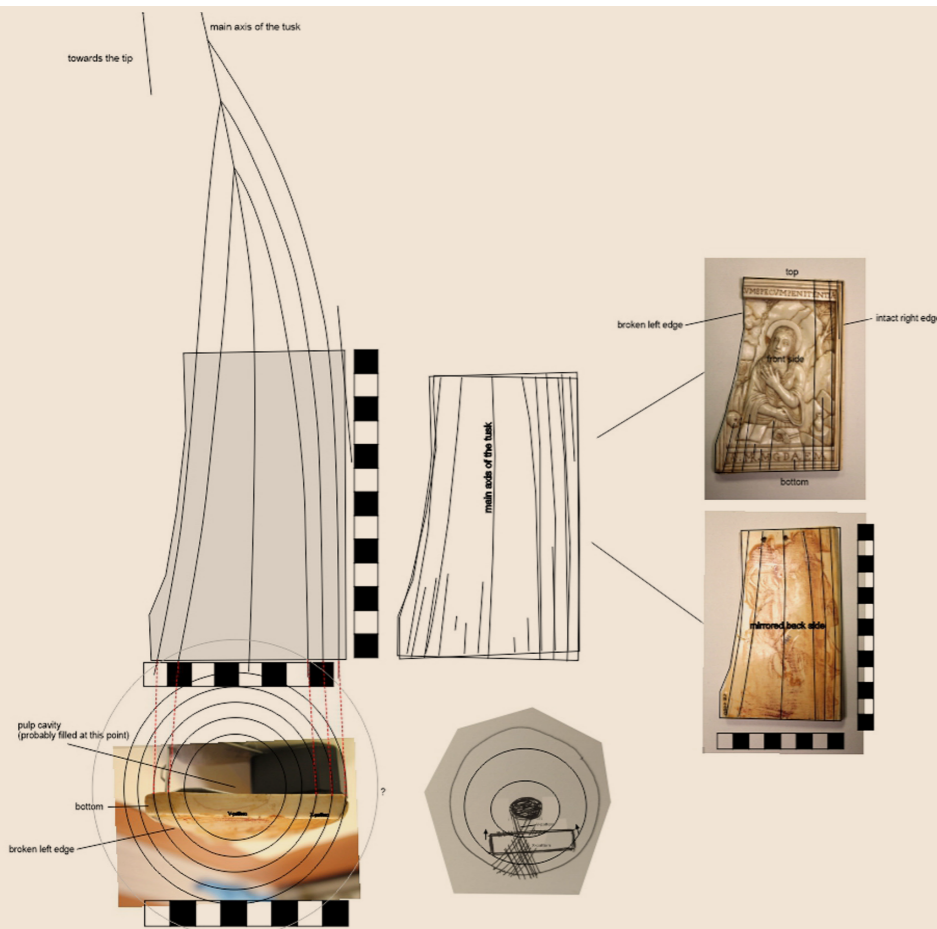


Figura 6

Dr. Attila Virág, Assistant Professor. Department of Mineralogy and Geology, University of Debrecen.

Análisis gráfico donde se puede ver de manera esquemática de qué parte concreta del colmillo se ha obtenido la placa presente -según las fotografías y medidas aportadas. Imagen inédita no publicada [Con permiso para su publicación en ERPH].

Figura 7

Detalle pieza tallada en marfil de elefante.

Donde se puede apreciar claramente los ángulos de Schreger con respecto al centro de la pieza:
-menores de 100°
-parte superior de la imagen-
y los que se encuentran hacia el exterior de la pieza
-parte inferior de la imagen-
-mayores de 100° .
Imagen de los autores.



Pero, además, en la mayoría de las guías de identificación como la elaborada por la Secretaría CITES o la de referente a identificación de materiales de Locke se recomienda la medición de varios ángulos de Schreger en una misma pieza, diferenciando incluso entre cóncavos y convexos, analizando la problemática de que, dentro de un mismo colmillo, no todos los ángulos son iguales, ya que dependen del crecimiento y son diferentes según su ubicación en la estructura interna²⁷.

Si llevamos a cabo un análisis más detallado para la medición de ángulos es necesario revisar de manera directa los dos tipos de líneas de Schreger que existen: las denominadas “líneas conspicuas” que son las adyacentes al cemento o externas y las “líneas de Schreger” que se encuentran alrededor del nervio del colmillo.

Por lo tanto, solamente son válidas para diferenciar los proboscídeos extintos y los existentes, principalmente mamut y elefante, los ángulos que se forman en las líneas exteriores, ya que las internas o, lo que es lo mismo, las más cercanas al centro, no son útiles para clasificar la fuente taxonómica ya que, por el tipo de crecimiento los ángulos que presenta un elefante en esa zona pueden ser menores de 100° pudiendo confundirse con mamut si analizamos únicamente una pieza que se haya obtenido de esa zona.

Queda definido que para una correcta identificación del animal del que procede la pieza las mediciones de los ángulos deben de realizarse en la zona más exterior de la pieza lo más próximas al cemento posible para evitar confusiones.

Hay piezas donde encontramos ángulos menores y mayores de 100° (Fig. 7). Si llevamos a cabo una medición en una misma pieza de los ángulos en la zona central más próxima al nervio del colmillo -centro- nos da como resultado ángulos menores de 100° , mientras que si medimos hacia el cemento -zona exterior- los ángulos son mayores de 100° . Esta característica puede plantear serias dudas sobre el animal del que procede, sobre todo, si no podemos ver toda la sección del colmillo.

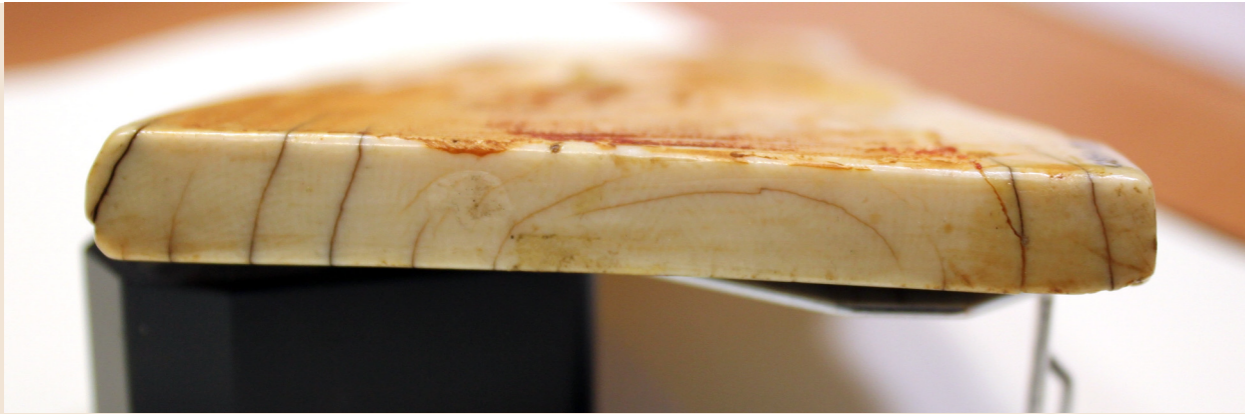


Figura 8

Sección completa del canto -sección horizontal- de la pieza.
Se pueden ver las líneas de Schreger con ángulos menores de 100°.
Imagen de los autores.

En el caso de la pieza a analizar del Museo Nacional de Artes Decorativas de Madrid, debido a su pequeño tamaño y, a pesar del tipo de corte transversal que presenta con respecto al crecimiento del colmillo, nos encontramos con la problemática indicada en cuanto a la ubicación concreta de la sección de material empleado para la consecución de la pieza dentro del propio colmillo.

Desconocemos la disposición de la pieza en el colmillo ya que no tenemos referencias para conocer el diámetro total del mismo y saber dónde se encuentra el centro (cavidad pulpar) y dónde el exterior (cemento). El grosor de la pieza (apenas 1,5 cm), la falta de nitidez de las líneas y la imposibilidad de efectuar la suficiente cantidad de mediciones de ángulos indicadas en los párrafos anteriores plantea serias dudas a la hora de llegar a una conclusión morfológica del animal procedente.

Si analizamos morfológicamente la sección lateral de la placa (Fig. 8) y seguimos las indicaciones de las guías específicas de marfil comentadas llevando a cabo distintas mediciones de los ángulos resultantes de las líneas de Schreger vemos que todas las mediciones dan como resultado ángulos menores de 100°. Sin embargo, como el propio Virág indica, en el análisis realizado sobre la posible ubicación de la pieza dentro del propio colmillo (Fig. 6) no se puede llegar a una respuesta concluyente sobre el animal del que procede la placa presente únicamente con la medición de los ángulos resultantes, ya que desconocemos el diámetro del colmillo al no tener ni indicios morfológicos con respecto a la ubicación del nervio (cavidad pulpar) ni del cemento (zona externa).

Las metodologías de identificación morfológicas son utilizadas para comparar de manera rápida y no invasiva muestras de marfil natural. La problemática aparece cuando no es factible identificar de manera concluyente el animal del que procede el marfil mediante características morfológicas macroscópicas y microscópicas como nos ocurre con esta pequeña pieza. Se plantea en esos casos la necesidad de emplear otros métodos forenses que pueden ser muy útiles para obtener información relativa a la identificación de especies.

7.- ESTUDIO CON TÉCNICAS EXPERIMENTALES PARA DATACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MATERIAL

Existen métodos muy conocidos y empleados en la datación e identificación como puede ser el análisis de ADN o el análisis de isótopos (Carbono 14) si bien son claramente invasivos para la muestra a analizar²⁸. Otros métodos no invasivos como la espectroscopía FT-IR (espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier) o la espectroscopia Raman que, si bien están actualmente en base de experimentación en piezas talladas de marfil y otros materiales naturales, pueden ser una alternativa a tener en cuenta para la identificación del animal en una pieza como la presente.

El estudio de piezas talladas, con un importante valor histórico y artístico y, por consiguiente, económicamente elevado, plantea la idoneidad de aplicación de métodos no invasivos para no dañar la pieza ni siquiera mínimamente. Las piezas, como la presente, que se encuentran custodiadas en un museo no suelen ser candidatas para la realización de estudios analíticos y científicos, fundamentalmente por el desconocimiento generalizado de la mayoría de ellos, pero pueden ser muy útiles en la identificación del material con el que está realizada la pieza.

A través de un sencillo análisis de la composición del material se puede diferenciar una pieza de marfil de otros materiales que imitan sus características físicas como puede ser el plástico o el hueso, pero también, llegar a identificar la procedencia del marfil que originó la talla del objeto, ya sea de elefante africano, asiático o mamut²⁹.

Actualmente existen diversos estudios científicos donde identifican los componentes del marfil de elefante con técnicas experimentales, si bien estamos ante un material bastante complejo desde el punto de vista composicional³⁰ con tres materiales principales: orgánico, mineral y, por otro lado, materiales fluidos³¹.

7.1- Aplicación de la técnica Raman al estudio la pieza:

Una vez que hemos analizado la pieza en cuanto a su iconografía y datación en base a las características estilísticas presentes, así como los estudios y catalogaciones previas se plantea analizarla con metodologías de identificación morfológicas que no llegan a aportar datos definitorios de la procedencia del material en cuanto a la especie.

Para completar el estudio realizado en la pieza objeto del presente artículo, se realiza un análisis más detallado de la composición y la posible procedencia del material. Para ello se obtienen espectros Raman con un equipo portátil Agility Dual Band, con una excitación láser de 785 nm. Los espectros tienen una resolución de 6 cm⁻¹ y un láser nominal de 450 mW. Las medidas se han recogido en varias zonas de la pieza para una mayor precisión del estudio, las zonas medidas se marcan en la imagen que se presenta a continuación, junto a los espectros realizados.

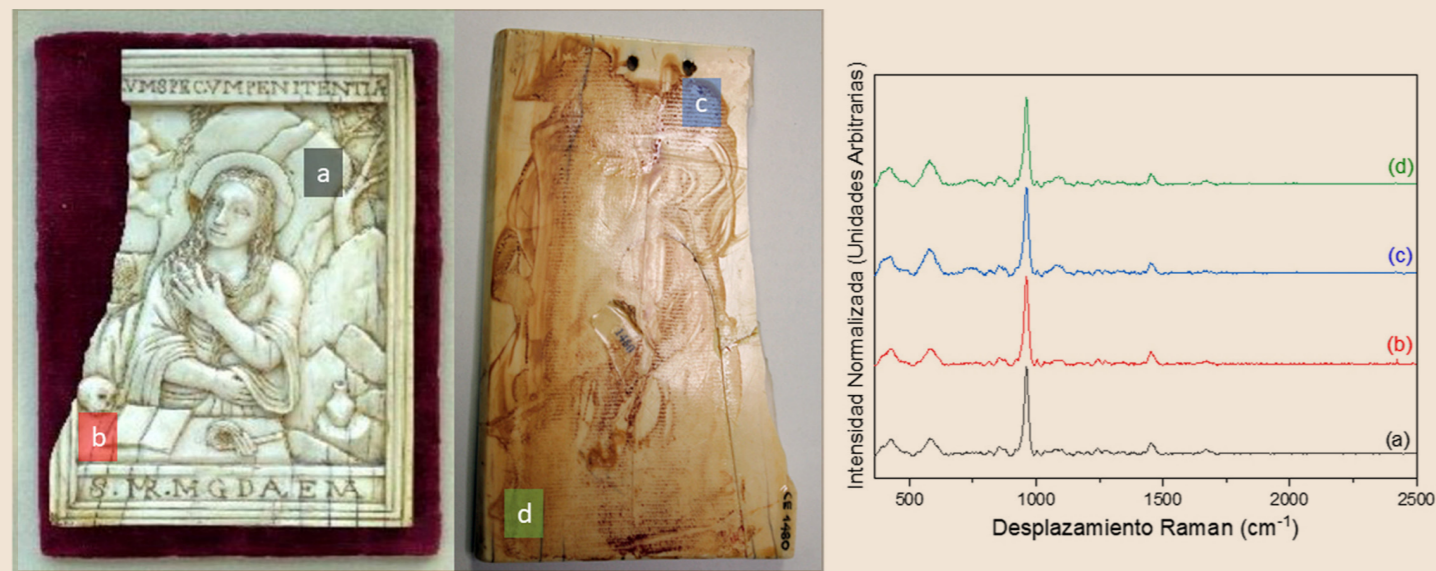


Figura 9

Posición de las medidas realizadas con el espectrómetro Raman.

Gráfica de los cuatro espectros obtenidos, identificado por colores en las imágenes de la izquierda. Imagen y gráfico de los autores.

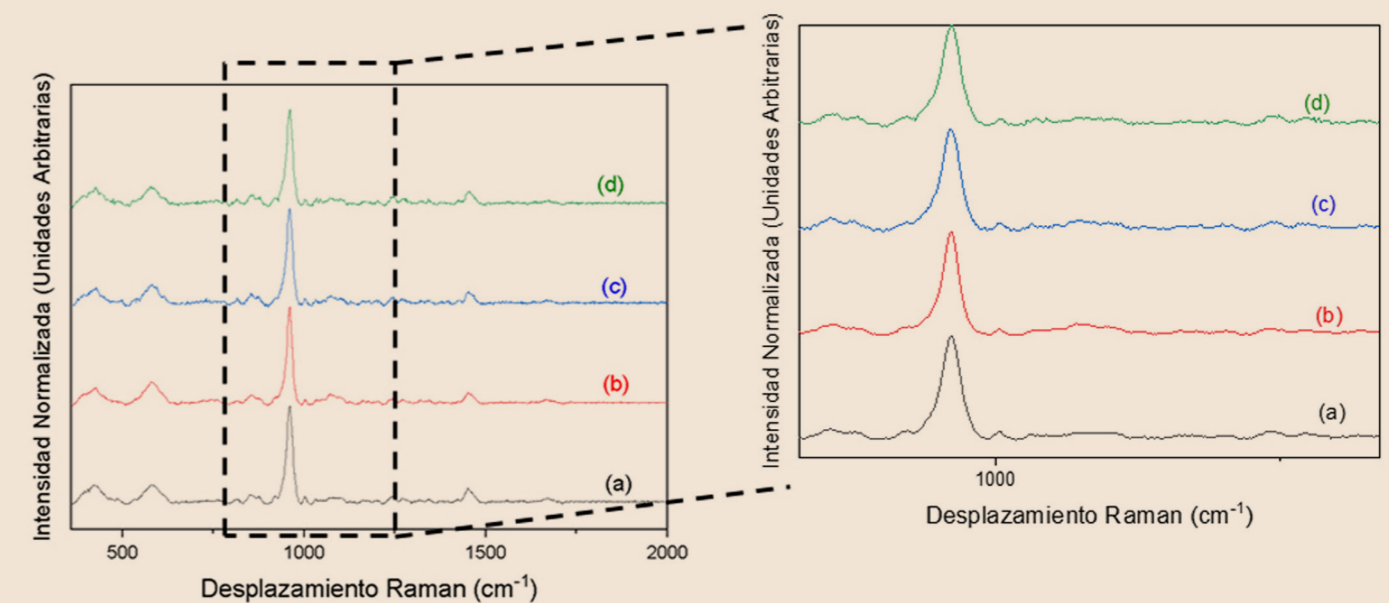


Figura 10

Espectros Raman de:

(a) pieza objeto de estudio, (b) mamut, (c) elefante africano y (d) elefante asiático. Imagen ampliada de la parte seleccionada por línea punteada. Gráfico de los autores.

Se ha obtenido un espectro Raman representativo de marfil de cada una de las partes señaladas en la imagen (Fig. 9). El marfil posee regiones en el espectro muy característica de modos asociados a la matriz inorgánica y las proteínas orgánicas de las que se compone este material, las cuales ya han sido reportadas por varios autores en los últimos años. Se asocian las bandas centradas en 422-582 cm^{-1} a la biopatita (ν_2 - ν_3 PO_4^{3-}), 960 cm^{-1} a la biopatita (ν_1 - PO_4^{3-}), 1003 cm^{-1} asociado al colágeno (ν -CC), 1075 cm^{-1} (ν_3 PO_4^{3-}) y por último 1450 cm^{-1} relacionada con compuestos de proteínas conocidas como amidas (δ - CH_2)³².

En los últimos años han surgido estudios donde se hace posible diferenciación entre especies que poseen marfil, en los que siempre se indican que según el tipo de conservación que haya tenido la pieza, ya sea expuesta al sol, enterrada o en condiciones de clima adverso, entre otros agentes externos, puede conllevar una modificación en la medida de la pieza. Esto es debido principalmente, a que el marfil es un material poroso en sí mismo³³. El grupo formado por *Edwards et al.* sugiere que la principal diferencia en los espectros Raman de marfiles procedentes de elefantes asiático, africano y mamut es la banda centrada en 1070 cm^{-1} , la cual se asocia a las vibraciones de la hidroxiapatita con iones de carbono. En el estudio mencionado anteriormente, observan que esta banda es más intensa en las medidas realizadas en la dentina de elefantes africanos que en los asiáticos. Además, esta se acentúa aún más en los mamuts, debido principalmente a efectos de la fosilización de la pieza.

En el presente estudio de la muestra objeto, se ha comparado la medida realizada en ella, con medidas realizadas en las defensas procedentes de un elefante asiático,

africano y una pieza de mamut. En la imagen (Fig. 10) se observa muy tenuemente la diferencia en la banda de 1070 cm^{-1} , donde el aumento de esta banda se aprecia más en la pieza de mamut, espectro de color rojo en la imagen 13, que en la procedente de elefante africano y del asiático, espectros azul y verde respectivamente. Sin embargo, la banda del espectro medido en la pieza africana también posee una intensidad característica. Por último, se menciona que la banda del asiático, es de menor intensidad en comparación con las de africano y mamut³⁴.

Si nos centramos en la pieza objeto de estudio, esta banda es una banda poco intensa, por lo que podríamos estar ante una pieza realizada sobre marfil de elefante asiático. Aun así, es complicada la determinación exacta de la procedencia de esta pieza, siempre teniendo en cuenta el estado de conservación de la misma a lo largo de los años, ya que esto podría interferir en la medida realizada. Otro de los factores a tener en cuenta y referido en estudios previos sobre piezas de marfil, es que esta diferencia se hace más notable en medidas con una excitación de 1064 nm y en equipos como pueden ser un FT-IR o en un Raman confocal que no sean portátiles³⁵.

Aun así, para un primer análisis de piezas de estas características que, por su fragilidad, su tamaño o por diversas circunstancias de traslado, no sea posible hacer un análisis exhaustivo de las misma, este tipo de técnicas portátiles como Raman o FT-IR, son muy útiles a la hora de determinar el tipo de procedencia de material, ya sea marfil de elefante o de otra especie a materiales totalmente diferentes. O, incluso, hacer una primera posible diferenciación entre procedencia del marfil de elefante asiático o africano y mamut como se ha podido observar en este artículo.

8.- CONCLUSIONES

El origen del animal del que proviene una pieza de marfil no es analizado en los estudios histórico-artísticos ya que, únicamente, se fundamenta de manera general en un análisis iconográfico en relación con su procedencia artística e histórica. En el caso de piezas realizadas con (o que contengan) “marfil” la descripción habitual del material es completamente generalista sin especificar en la gran mayoría de los casos de qué animal provienen. Poniendo como ejemplo una pieza de pequeño tamaño vemos que no es posible identificar visualmente el animal del que proviene, algo que ampliaría de manera sustancial el conocimiento de la propia pieza, además de articular, a futuro, estudios específicos de las características de las piezas realizadas con marfil y su historia, así como su posible protección legal según animal de procedencia.

Como se explica en el presente artículo estudios morfológicos (macroscópicos y microscópicos) de las líneas de Schreger para la identificación de la especie de la que proviene el marfil son muy interesantes pero muy poco aplicados en el análisis patrimonial general de las piezas realizadas con este material. Nos encontramos con que, además, en piezas talladas de pequeño tamaño o con un tipo de corte o sección en partes muy concretas (zona central del colmillo) no es posible realizar las mediciones necesarias de los ángulos para una correcta identificación por lo que estos estudios no son finalmente definitivos para conocer el animal del que procede dicho marfil. Es necesario, por lo tanto, el uso de métodos científicos alternativos que analicen el material para conseguir obtener mayor información relativa a la identificación de especies.

Existe un amplio abanico de métodos forenses que han sido aplicados para la identificación del material y la especie en piezas en bruto, pero el estudio en piezas talladas con una importancia histórica, artística, patrimonial y económica, precisa de métodos no invasivos como FT-IR o la espectroscopia Raman, entre otros.

Los estudios llevados a cabo en piezas talladas con la espectroscopia Raman analizan el material sin dañar la pieza y permitiendo, además, su conservación en las condiciones de temperatura y seguridad necesarias para su preservación gracias a aparatos portátiles. Este tipo de piezas, por su delicadeza e importancia patrimonial, plantean una complejidad de estudio con este tipo de técnicas, por lo que apenas podemos encontrar investigaciones científicas sobre su material y especie de la que proviene.

El hecho de poder llevar a cabo una catalogación correcta del material ampliaría de manera directa el conocimiento de la historia y origen de una pieza concreta antes de su creación artística, más allá de los estudios iconográficos y *provenance* que se aplican en los inventarios patrimoniales actuales de colecciones públicas y privadas. Este campo de conocimiento en cuanto al origen del material aumenta de manera específica la ficha catalográfica de los bienes histórico-artísticos actuales ampliando sustancialmente la información contenida en la misma, con todos los beneficios que se plantearían a futuro sobre el origen “real” del material.

El estudio llevado a cabo plantea, en definitiva, soluciones concretas para la correcta identificación del material y especie animal con el que están realizadas piezas de marfil de elevada importancia histórico-artística o patrimonial. Además, en una segunda fase aplicable, se podría analizar la diferencia entre marfil de especies sujetas o no a protección para poder llegar a tomar las medidas legales pertinentes.



¹ Los autores agradecen al Museo de Artes Decorativas por la prestación a medir la pieza objeto de estudio del presente artículo. Además, al Laboratorio de Biología del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forense de la Comunidad Valenciana, en especial al Dr. Burillo Borrego por la ayuda prestada.

A Juan Manuel Monterroso Montero, coordinador del programa de doctorado en Historia, Geografía e Historia del Arte y coordinador del grupo de investigación Iacobus (GI-1907) de la Universidad de Santiago de Compostela, en el que se enmarcan los estudios de la tesis doctoral “La incógnita del marfil. Estudio y análisis del material en piezas talladas”.

A la Jefatura del SEPRONA de la Guardia Civil, por la participación directa en el proyecto de investigación en desarrollo de sus competencias en la lucha contra el tráfico ilícito de especies. Trabajos financiados por el proyecto de Fondos NextGenerationEU “Formación, Capacitación y Asistencia a Autoridades Medioambientales, policiales y fiscales en materia de lucha contra el tráfico ilegal de especies silvestres”, expediente 23BDES907 del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.

Actuaciones desarrolladas en el marco del Plan de acción español contra el tráfico ilegal y el furtivismo internacional de especies silvestres, Plan TIFIES.

Al Dr. Attila Virág por la ayuda prestada para entender las líneas de Schreger.

² Podemos encontrar la catalogación más extendida en el volumen al que se hace alusión en la documentación referente a la pieza.

³ La CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) es un acuerdo internacional concertado entre los gobiernos. Tiene por finalidad velar por que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no constituya una amenaza para la supervivencia de las especies.

⁴ Tanto el elefante africano (*Loxodonta africana*, listado desde 1976) como el elefante asiático (*Elephas maximus*, listado desde 1975) se encuentran listados en los Apéndices de CITES (A/B) y en el Reglamento 338/97 (Anexo A) con un máximo nivel de protección. El comercio internacional está prohibido desde 1989 salvo excepciones estrictamente limitadas (pre-convención, trofeos de caza, en beneficio de las especies u otros) y el comercio en la Unión Europea (con destino, a partir de o dentro de la UE) está prohibido con carácter general. Actualmente le son aplicables las siguientes leyes y reglamentos en lo relativo a su comercio: Reglamento (CE) 338/1997, de 9 de diciembre de 1996, relativo a la protección de especies de fauna y flora silvestres mediante el control de su comercio, Reglamento (CE) 865/2006, de 4 de mayo de 2006, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 338/1997, Reglamento (UE) 2021/2280, de 16 de diciembre, por el que se modifican los Reglamentos (CE) 338/1997 y 865/2006 y Documento de orientación (2021/C 528/03, revisado) sobre el régimen de la UE que regula el comercio de marfil.

Si bien según el Artículo 8 (Reglamento (CE) 338/97, de 9 de diciembre) con respecto a piezas talladas [...] “quedan prohibidas la compra, la oferta de compra, la adquisición y la exposición al público con fines comerciales, así como la utilización con fines lucrativos y la venta, la puesta en venta, el transporte o la tenencia para su venta, de especímenes de las especies que figuran en el Anexo A [...] De conformidad con los requisitos establecidos en otros actos legislativos comunitarios en materia de conservación de la fauna y flora silvestres, se podrán conceder excepciones a las prohibiciones que establece el apartado 1, siempre que se obtenga un certificado a tal efecto del órgano de gestión del Estado miembro [...] que sería el denominado certificado CITES”.

En el caso de piezas en museos, según las últimas reglamentaciones como la Comunicación de la Comisión del documento de orientación (revisado) régimen de la UE que regula el comercio de marfil (2021/C 528/03) en el apartado de 1 de Introducción y glosario de términos denominando museo como: “institución sin fines lucrativos, permanente, al servicio de la sociedad y de su desarrollo, abierta al público, que adquiere, conserva, investiga, comunica y expone el patrimonio material e inmaterial de la humanidad y su medio ambiente con fines de educación, estudio y recreo”

[<http://uis.unesco.org/en/glossary-term/museum#:~:text=Definition,of%20education%2C%20study%20and%20enjoyment>] presentándose como excepciones en el caso de piezas consideradas de gran importancia cultural, artística o histórica vendidas a museos con unas condiciones específicas indicadas de manera concreta en el apartado 7: Cómo interpretar las normas de la UE sobre la importación de marfil.

⁵ El jarro de ungüentos (denominado también alabastro o alabastrón por el material con el que se supone que estaba realizado) es el atributo más característico de la iconografía de María Magdalena y el más extendido en lo que a su representación pictórica se refiere. Es un tarro o jarro donde se guardaban perfumes y mirra diluida en aceites, producto empleado por griegos y romanos para embalsamar. Aquí aparece de manera anecdótica, en la esquina del cuadro, apoyado sobre una roca y ha perdido, claramente la fuerza simbólica y referencia icónica de obras donde lo sostiene María Magdalena con las manos para ser utilizado.

⁶ MARTÍNEZ GUIASOLA, J. M., “Magdalena”, en PAVÓN TORREJÓN, P. (coord.), *250 mujeres de la Antigua Roma*, Sevilla, Universidad de Sevilla, 2022, p. 116. Esta publicación es el resultado de los Proyectos de I+D+i “Marginación y visibilidad de la mujer en el Imperio romano: Estudio de contrastes en los ámbitos políticos, jurídicos y religiosos (PGC2018-094169-B-I00)” y “Funciones y vínculos de las elites municipales de la Bética. Marco jurídico, estudio documental y recuperación contextual del patrimonio epigráfico. II (PGC2018-093507-B-I00)” financiados por MCIN/ AEI/10.13039/ 501100011033/ y “FEDER Una manera de hacer Europa”. Depósito Legal: B.6780-2022.

⁷ DEL AMO HORGA, L.M., “María Magdalena, la *Apostola Apostolorum*”, en AA.VV., *El culto a los santos: cofradías, devoción, fiestas y arte*, San Lorenzo de El Escorial, Ediciones Escorialenses: Real Centro Universitario Escorial-María Cristina, 2008, p. 629.

⁸ SÁNCHEZ MORILLAS, B., *María Magdalena, de testigo presencial a icono de penitencia en la pintura de los siglos XIV-XVII*, Tesis doctoral inédita, Sevilla, Universidad de Sevilla, 2014, pp. 121-123.

⁹ CASADO PARAMIO, J. M., *Museo Oriental de Valladolid. Catálogo II. Marfiles hispano-filipinos*, Valladolid, Caja España, 1997, p. 205.

¹⁰ DEL AMO HORGA, L. M., *op. cit.*, p. 630.

¹¹ CASADO PARAMIO, J. M., *op. cit.*, p. 253.

¹² FARIA, F. (coord.), *Portuguese Expansion overseas and the art of Ivory*, Lisboa, Calouste Gulbenkian Foundation, 1991, pp. 132 y 189.

¹³ Sirva como ejemplo la catalogación de la estampa de Cornelis Cort que reproduce, a partir de una obra de Tiziano, a María Magdalena penitente, conservada en el British Museum, inv. 1858,0724.13: https://www.britishmuseum.org/collection/object/P_X-1-63 [última consulta: 1-9-2024].

¹⁴ Existen tres ejemplares disponibles en la Biblioteca Nacional de España: INVENT/80158, INVENT/1804 e INVENT/1804. Biblioteca Nacional de España. BNE: <https://datos.bne.es/edicion/binp0000019185.html> [última consulta: 1-9-2024].

¹⁵ Obra de Tiziano Vecellio fechada en la década de 1560, se conserva en el Hermitage, núm. de inventario: Γ9-117. Realizada en óleo sobre lienzo, tiene unas medidas 119 x 97 cm. Fue adquirida por el Hermitage en 1850 procedente de la Barbarigo Gallery de Venecia, tal como consta en la ficha del catálogo web: <https://hermitagemuseum.org/digital-collection/32191?lng=en> [última consulta: 1-9-2024].

¹⁶ Cort, Cornelis, Hoorn (Países Bajos), h. 1533-Roma, 1578. Grabador y dibujante. Activo en Amberes, Venecia, Florencia y Roma. Podría haberse formado con Cock. En Venecia se asoció con Tiziano después de grabar algunas de sus obras. British Museum: <https://www.britishmuseum.org/collection/term/BIOG23700> [última consulta: 1-9-2024].

¹⁷ Johan Sadeler (Bruselas 1550-Venecia, 1600), Jan Sadeler I o Jan Sadeler el Viejo, fue un dibujante, grabador a buril y editor de libros flamenco, cabeza de una extensa familia de grabadores y libreros [Biblioteca Nacional de España: <https://datos.bne.es/persona/XX1307336.html> [última consulta: 1-9-2024].

¹⁸ Alusión al artista Federico Zuccaro (1540/41-1609). Pintor, arquitecto y escritor italiano. Formado por su hermano mayor Taddeo (1529-1566) en Roma y colaboró con él en numerosos proyectos decorativos en dicha ciudad. Trabajaría, además, en Venecia, Florencia y Loreto. Museo Nacional del Prado: <https://www.museodelprado.es/coleccion/artista/zuccaro-federico/6cba9869-b108-4a49-b4bb-98f9d36e326c> [última consulta: 1-9-2024].

¹⁹ ESTELLA MARCOS, M. M., *La escultura de marfil en España. Escuelas europeas y coloniales*, Madrid, CSIC, 1984, vol. I., p. 156.

²⁰ Las características, forma y tamaño de las fracturas y craquelado en las piezas de marfil plantean un estudio pormenorizado en cuanto a la pérdida de material interno y líneas de rotura visibles al exterior como en este ejemplo. Este craquelado dependerá de la exposición de la pieza a agentes externos -luz, temperatura y humedad- que afecten de manera directa a la estructura interna del material de manera directa o indirecta y natural o artificial. Es de suponer que una pieza con una antigüedad mayor estará expuesta durante más tiempo a agentes externos que afecten su estructura y muestre este tipo de roturas tan visibles.

²¹ BAKER, B., JACOBS, R., MANN, M., ESPINOZA, E. y GREIN, G., *Guía de identificación de la CITES del marfil y sus sustitutos* (4ª ed., ALLAN, C. (ed.). World Wildlife Fund Inc., Washington DC, 2020. Encargado por la Secretaría de la CITES, Ginebra, Suiza. Disponible en: https://cites.org/sites/default/files/ID_Manuals/Identification_Guide_for_Ivory_and_Ivory_Substitutes_SPANISH.pdf [última consulta: 1-9-2024].

²² ESPINOZA, E. O. y MANN, M.-J., “The History and Significance of the Schreger Pattern in Proboscidean Ivory Characterization”, *Journal of the American Institute for Conservation*, vol. 32, núm. 3, 1993, pp. 241-248 [<https://doi.org/10.1179/019713693806124866>].

²³ ECHEVERRÍA, J. M., *Coleccionismo de marfiles*, León, Editorial Everest, 1980, p. 32.

²⁴ PALOMBO, M. R. y VILLA, P., “Schreger Lines as Support in the Elephantinae Identification”, en CAVARRETTA, G., GIOIA, P., MUSSI, M. y PALOMBO, M. R. (coords.), *La Terra degli Elefanti. Atti del 1º Congresso Internazionale - The World of Elephants: Proceedings of the 1st International Congress*, Roma, 2001, p. 656.

²⁵ VIRÁG, A. “Histogenesis of the Unique Morphology of Proboscidean Ivory”, *Journal of Morphology*, vol. 273, núm. 12, 2012, pp. 1406-1423.

²⁶ CABAÑAS MORENO, M. del P., *Marfiles japoneses en las colecciones españolas*, Tesis doctoral inédita, Madrid, Universidad Complutense de Madrid, 1993, p. 406.

²⁷ LOCKE, M., *Bone, Ivory and Horn. Identifying Natural Materials*, Atglen, Schiffer, 2013, p. 109.

²⁸ BAKER, B., JACOBS, R., MANN, M., ESPINOZA, E. y GREIN, G., *op. cit.*, 2020, pp. 74-86.

²⁹ Sobre este tema, VOLLRATH, F., MI, R. y SHAH, D. U., “Ivory as an Important Model Bio-composite”, *Curator: The Museum Journal*, vol. 61, no 1, 2018, pp. 95-110 [<https://doi.org/10.1111/cura.12236>]; JOHNSON, K., “Chemical dating of bones based on diagenetic changes in bone apatite”, *Journal of Archaeological Science*, vol. 24, núm. 5, 1997, pp. 431-437 [<https://doi.org/10.1006/jasc.1996.0127>]; LOCKE, M., “Structure of ivory”, *Journal of Morphology*, vol. 269, núm. 4, 2008, pp. 423-450 [<https://doi.org/10.1002/jmor.10585>]; y PARUNGAO, D., VANDENABEELE, P., EDWARDS, H. G. M., CANDEIAS, A. y MIGUEL, C., “Mobile Raman spectroscopy analysis of elephant ivory objects”, *Journal of Raman Spectroscopy*, 2022 [<https://doi.org/10.1002/jrs.6487>].

³⁰ EDWARDS, H. G. M., FARWELL, D. W., HOLDER, J. M. y LAWSON E. E., “Fourier transform-Raman spectroscopy of ivory: a non-destructive diagnostic technique”. *Studies in conservation*, vol. 43, núm 1, 1998, pp. 9-16 [<https://doi.org/10.1179/sic.1998.43.1.9>].

³¹ LE GUENNEC, Y., “African Elephant Ivory Subspecies Differentiation by Raman, FTIR and UV-Vis Spectroscopic Analysis”, 2020, pp. 1-20 [<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26009.65125>].

³² LONG, D. N., EDWARDS H. G. M. y FARWELL, D. W., "The Goodmanham plane: Raman spectroscopic analysis of a Roman ivory artefact", *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 39, núm. 3, 2008, pp. 322-330 [<https://doi.org/10.1002/jrs.1949>]; y LE GUENNEC, Y., *op. cit.*

³³ CARTIER, L., KRZEMNICKI M. S., GYSI, M., LENDVAY, B. y MORF, N. V., "A Case Study of Ivory Species Identification Using a Combination of Morphological, Gemmological and Genetic Methods", *Journal of Gemmology*, vol. 37, núm. 3, 2020, pp. 282-297 [<https://doi.org/10.15506/jog.2020.37.3.282>]; y VOLLRATH, F., MI, R. y SHAH, D. U., *op. cit.*

³⁴ PARUNGAO, D., VANDENABEELE, P., EDWARDS, H. G. M., CANDEIAS, A. y MIGUEL, C., *op. cit.*; y EDWARDS, H. G. M., FARWELL, D. W., HOLDER, J. M. y LAWSON E. E., *op. cit.*

³⁵ VOLLRATH, F., MI, R. y SHAH, D. U., *op. cit.*; y JOHNSON, K., *op. cit.*



ALBÉRIC, M., DEAN, M. N., GOURRIER, A., WAGERMAIER, W., DUNLOP, J. W. C., STAUDE, P. y REICHE, I. "Relation between the Macroscopic Pattern of Elephant Ivory and Its Three-Dimensional Micro-Tubular Network", *PloS ONE*, vol. 12, no 1, 2017 [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166671>].

BAKER, B., JACOBS, R., MANN, M., ESPINOZA, E. y GREIN, G., *Guía de identificación de la CITES del marfil y sus sustitutos* (4ª ed., ALLAN, C. (ed.)). World Wildlife Fund Inc., Washington DC, 2020. Disponible en: https://cites.org/sites/default/files/ID_Manuals/Identification_Guide_for_Ivory_and_Ivory_Substitutes_SPANISH.pdf [última consulta: 1-9-2024].

BURACK, B., *Ivory and Its uses*, Tokyo, Charles E. Tuttle Company, 1984.

CABAÑAS MORENO, M. del P., *Marfiles japoneses en las colecciones españolas*, Tesis doctoral inédita, Madrid, Universidad Complutense de Madrid, 1993.

CARTIER, L., KRZEMNICKI M. S., GYSI, M., LENDVAY, B. y MORF, N. V., "A Case Study of Ivory Species Identification Using a Combination of Morphological, Gemmological and Genetic Methods", *Journal of Gemmology*, vol. 37, núm. 3, 2020, pp. 282-297 [<https://doi.org/10.15506/jog.2020.37.3.282>].

CASADO PARAMIO, J. M., *Museo Oriental de Valladolid. Catálogo II. Marfiles hispano-filipinos*, Valladolid, Caja España, 1997.

DEL AMO HORGA, L.M., "María Magdalena, la *Apostola Apostolorum*", en AA.VV., *El culto a los santos: cofradías, devoción, fiestas y arte*, San Lorenzo de El Escorial, Ediciones Escorialenses: Real Centro Universitario Escorial-María Cristina, 2008, pp. 613-636.

ECHEVERRÍA, J. M., *Coleccionismo de marfiles*, León, Editorial Everest, 1980.

EDWARDS, H. G. M., BRODY, R. H., HASSAN, N. F. N., FARWELL, D. W. y O'CONNOR, S., "Identification of archaeological ivories using FT-Raman spectroscopy", *Analytica Chimica Acta*, vol. 559, núm. 1, 2006, pp. 64-72 [<https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.11.067>].

EDWARDS, H. G. M., FARWELL, D. W., HOLDER, J. M. y LAWSON E. E., "Fourier transform-Raman spectroscopy of ivory: a non-destructive diagnostic technique". *Studies in conservation*, vol. 43, núm 1, 1998, pp. 9-16 [<https://doi.org/10.1179/sic.1998.43.1.9>].

ESPINOZA, E. O. y MANN, M.-J., "The History and Significance of the Schreger Pattern in Proboscidean Ivory Characterization", *Journal of the American Institute for Conservation*, vol. 32, núm. 3, 1993, pp. 241-248 [<https://doi.org/10.1179/019713693806124866>].

ESTELLA MARCOS, M. M., *La escultura de marfil en España. Escuelas europeas y coloniales*, Madrid, CSIC, 1984, 2 vols.

ESTELLA MARCOS, M. M., *La escultura de marfil en España: románica y gótica*, Madrid, Editora Nacional, 1984.

JOHNSSON, K., "Chemical dating of bones based on diagenetic changes in bone apatite", *Journal of Archaeological Science*, vol. 24, núm. 5, 1997, pp. 431-437 [<https://doi.org/10.1006/jasc.1996.0127>].

LE GUENNEC, Y., "African Elephant Ivory Subspecies Differentiation by Raman, FTIR and UV-Vis Spectroscopic Analysis", 2020, pp. 1-20 [<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26009.65125>].

LOCKE, M., "Structure of ivory", *Journal of Morphology*, vol. 269, núm. 4, 2008, pp. 423-450 [<https://doi.org/10.1002/jmor.10585>].

LOCKE, M., *Bone, Ivory and Horn. Identifying Natural Materials*, Atglen, Schiffer, 2013.

LONG, D. N., EDWARDS H. G. M. y FARWELL, D. W., "The Goodmanham plane: Raman spectroscopic analysis of a Roman ivory artefact", *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 39, núm. 3, 2008, pp. 322-330 [<https://doi.org/10.1002/jrs.1949>].

MARTÍNEZ GUIASOLA, J. M., "Magdalena", en PAVÓN TORREJÓN, P. (coord.), *250 mujeres de la Antigua Roma*, Sevilla, Universidad de Sevilla, 2022, pp. 115-116.

PALOMBO, M. R. y VILLA, P., "Schreger Lines as Support in the Elephantinae Identification", en CAVARRETTA, G., GIOIA, P., MUSSI, M. y PALOMBO, M. R. (coords.), *La Terra degli Elefanti. Atti del 1º Congresso Internazionale - The World of Elephants: Proceedings of the 1st International Congress*, Roma, 2001, pp. 656-660.

PARUNGAO, D., VANDENABEELE, P., EDWARDS, H. G. M., CANDEIAS, A. y MIGUEL, C., "Mobile Raman spectroscopy analysis of elephant ivory objects", *Journal of Raman Spectroscopy*, 2022 [<https://doi.org/10.1002/jrs.6487>].

SÁNCHEZ MORILLAS, B., *María Magdalena, de testigo presencial a icono de penitencia en la pintura de los siglos XIV-XVII*, Tesis doctoral inédita, Sevilla, Universidad de Sevilla, 2014.

VIRÁG, A. "Histogenesis of the Unique Morphology of Proboscidean Ivory", *Journal of Morphology*, vol. 273, núm. 12, 2012, pp. 1406-1423. [<https://doi.org/10.1002/jmor.20069>].

FARIA, F. (coord.), *Portuguese Expansion overseas and the art of Ivory*, Lisboa, Calouste Gulbenkian Foundation, 1991.

VOLLRATH, F., MI, R. y SHAH, D. U., "Ivory as an Important Model Bio-composite", *Curator: The Museum Journal*, vol. 61, no 1, 2018, pp. 95-110 [<https://doi.org/10.1111/cura.12236>].