

Consolidación de material óseo fósil: estudio de penetración de consolidantes

Estrella Martín Castellano **01** | José Pozo Canales **01** |

Los términos paleontológico, hueso o fósil no son los primeros que nos vienen a la mente cuando pensamos en el concepto de patrimonio, pero representan una parte tan importante de él como cualquier monumento u obra de arte. Este tipo de bienes forman parte tanto del patrimonio cultural como del natural y proporcionan una información científica muy importante sobre la vida del pasado.

Por ello, es necesario fomentar la conservación del material óseo y adecuarla a los diversos estados de conservación que presentan los fósiles y subfósiles. En este aspecto hay que tener en cuenta que muchos de los tratamientos aplicados interfieren en los resultados e incluso impiden el desarrollo de muchas técnicas analíticas (análisis de isótopos, datación por 14C, extracción de ADN antiguo, etc.).

Este artículo plantea la necesidad de llevar a cabo investigaciones en este campo con el fin adaptar la conservación y sus tratamientos a cada caso concreto y compatibilizar la conservación física de los fósiles con su estudio analítico. A modo de inicio, se plantea un ensayo con tres productos consolidantes (Paraloid®, Estel 1000® y Nanorestore®) con el fin de estudiar la penetración que alcanzan en el hueso fósil y poder así conocer las zonas del material aptas para análisis sin interferencias de productos ajenos. Esta información ha permitido además establecer una serie de pautas y recomendaciones a la hora de intervenir en material óseo y fósil.

Palabras clave

Conservación | Consolidación | Hueso fósil | Investigación | Patrimonio | Restauración |

Consolidation of fossil bone materials: study of penetration of consolidants

Estrella Martín Castellano **01** | José Pozo Canales **01** |

Palaeontologic, bone or fossil are not the first words that come us to mind when we think about Heritage, but they actually are part of it, as important as any other monument or work of art. This kind of remains, that often appear in archaeological sites, are part of cultural and natural heritage and they provide a very important scientific information about life in the past. That's why it is necessary to foment bone conservation and adapt it to the different kind of fossils and subfossils. The range of products used regularly on bone conservation-restoration is not very wide and it isn't always suitable in all cases: spongy bone and compact, or enamel and ivory, don't react in the same way, every fossilization degree have different needs. Furthermore, many treatments interfere in the results or even the development of many analytical techniques (isotope analysis, biological analysis, ancient DNA, etc.). In this study, it is evidenced the need to develop researches in this field. It is necessary to adapt conservation treatments to every single case and to make it possible to conserve both the physical material and the scientific information that form palaeontological heritage. As a first example, this proyect present an experiment with three consolidants (Paraloid®, Estel 1000® y Nanorestore®) in order to study how deep they get into bone material and to know which parts of the material can be used in analytical techniques without interferences. This information has allowed us to establish some recommendations about fossil and bone material treatments.

Key words

Conservation | Consolidation | Fossil bone | Heritage | Research | Restoration |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/152>>

01 | Grado en Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad de Sevilla

INTRODUCCIÓN

El material óseo constituye una parte muy importante del patrimonio cultural e histórico de las sociedades; a pesar de ello, los estudios e investigaciones acerca de su conservación son hasta ahora escasos.

La paleontología y la paleobiología son las ciencias encargadas del estudio e investigación del material óseo fósil. La paleobiología estudia el registro fósil de animales y vegetales con fines biológicos, evolutivos y paleoecológicos (RAUP; SEPKOSKI, 1984; MAC FADDEN, 1985; GOULD, 1977; BERNÁLDEZ-SÁNCHEZ, 1989; 1996; VALKENBOURGH; JANIS, 1993; PALMQVIST; RODRÍGUEZ-GÓMEZ; ESPIGARES et ál., 2016). Además, si los restos óseos proceden de yacimientos arqueológicos, algo que suele ser muy habitual, pueden aportar información muy valiosa acerca de las costumbres tróficas de los humanos, pueden ayudar a interpretar ecosistemas y cambios en los mismos, así como a entender el uso que las sociedades hacían de los recursos naturales (ALTUNA, 1963; BRAIN, 1980; SHIPMAN, 1981; KYLE, 1986; DAVIS, 1989; LYMAN, 1989; ANDREWS; FERNANDEZ-JALVO, 1997; BERNÁLDEZ-SÁNCHEZ, 1991; 2010; BINDFORT, 2001; CERVERA-AÑÓN, 2012).

Por tanto, el registro paleontológico es importante en sí mismo por toda la información que puede llegar a aportar sobre la vida cotidiana de las sociedades pasadas, la cual complementa en muchos aspectos a los análisis arqueológicos que normalmente se llevan a cabo (ALTUNA, 1963; BEHRENSMEYER, 1982; KLEIN; CRUZ-URIBE, 1984; DAVIS, 1989; BERNÁLDEZ; BERNÁLDEZ, 2005; CLUTTON-BROCK, 1992; RENFREW; BAHN, 1993; ANDREWS; FERNANDEZ-JALVO, 1997).

Pero este patrimonio no sólo necesita ser estudiado, sino que en muchos casos merece además ser conservado. En este sentido, debe tenerse presente que la conservación-restauración de la naturaleza material y física de los restos orgánicos (fósiles y subfósiles) no siempre es compatible con la conservación de la información que pueden aportarnos debido a los productos ajenos a la naturaleza ósea que se introducen en el material durante los tratamientos conservativos (LÓPEZ-POLÍN, 2012). Por ejemplo, en la capa más externa del hueso puede encontrarse información relativa a las contaminaciones con metales pesados que ha sufrido un individuo (GRATTAN, HUXLEY, KARAKI et ál., 2002), una información que se vería afectada incluso por tratamientos muy superficiales.

En este trabajo, que pretende un acercamiento de la disciplina de la restauración a la metodología científica, se propone la necesidad de investigar acerca de los productos utilizados en la conservación del

material óseo. Como punto de partida, se ha marcado en este trabajo como objetivo principal el estudio de la penetración alcanzada por algunos de los productos utilizados de forma tradicional en la consolidación de hueso y fósil (JOHNSON, 1994; BISULCA; KRONTHAL-ELKIN; DAVIDSON, 2009), así como nuevos tratamientos aplicables a estos materiales (NATALI; TEMPESTI; CARRETTI et ál., 2014). Para la consecución de este objetivo, se han establecido otros objetivos específicos o secundarios:

- Estudiar un método de marcaje adecuado para poder observar la penetración alcanzada por los consolidantes.
- Desarrollar un ensayo con los consolidantes seleccionados y analizar la interacción entre dichos productos y diferentes estructuras de tejido óseo con el fin de determinar afinidades entre tratamientos y características materiales concretas.
- Establecer pautas o recomendaciones de actuación y conservación que contribuyan a preservar tanto la materia física del hueso/fósil como la potencial información que contiene.

Consolidación del material óseo

La consolidación es uno de los tratamientos más importantes en cualquier intervención de conservación-restauración, en especial cuando se realiza sobre materiales que, como los fósiles o subfósiles, pueden presentar un estado de fragilidad importante. Con la finalidad de minimizar ese estado de fragilidad se han empleado a lo largo de la historia numerosos productos de consolidación, pero a día de hoy aún no existe el consolidante perfecto.

Los primeros productos que fueron destinados a la consolidación de este tipo de materiales fueron las resinas, ceras, gomas y colas naturales (JOHNSON, 1994). En la segunda mitad del siglo XX tiene lugar la comercialización de los polímeros orgánicos sintéticos, lo que supuso una gran revolución en el mundo de la conservación (LÓPEZ-POLÍN, 2012). Su uso se extendió debido a su fácil aplicación, rápidos resultados y accesibilidad. Haciendo un recorrido histórico, podemos encontrar innumerables productos de este tipo destinados a la consolidación: resinas de nitrato de celulosa, resinas de acetato de polivinilo, emulsiones de acetato de polivinilo, emulsiones acrílicas, resinas acrílicas, etc.

El consolidante orgánico más destacado es la resina acrílica conocida como Paraloid B-72® o Acryloid B-72®, por ser sin lugar a dudas la más utilizada desde su aparición hasta la actualidad. Esto se debe a su supuesta buena estabilidad y a su mayor reversibilidad en comparación con otros productos. El uso de esta resina queda referenciado

en numerosas publicaciones y por ello es prácticamente la primera y mejor opción considerada en la mayoría de los casos (LÓPEZ-POLÍN, 2012; JOHNSON, 1994; BISULCA; KRONTHAL-ELKIN; DAVIDSON 2009; CARRASCOSA-MOLINER; ANGEL-PERIS; FLORS-UREÑA et ál., 2010; BOSCATO, 2002; CRUZ-ORTEGA; GRACIA; CARRETERO et ál. 2009).

También se han utilizado, aunque en menor medida, los consolidantes inorgánicos. Estos presentan la ventaja de compartir con el material mineralizado cierta afinidad físico-química. Sin duda los más conocidos son los silicatos de etilo, cuyo uso en consolidación de hueso fósil queda referenciado en Bisulca, Kronthal-Elkin y Davidson (2009) y en Gea-García, Willke-Lobato, Hidalgo-González et ál., 2003.

Por otro lado existen productos más innovadores que pueden aplicarse a la conservación del material óseo o fósil. Las nanopartículas de hidróxido de calcio son uno de los materiales más estudiados y utilizados en el campo de la conservación patrimonial y si bien tienen su principal campo de actuación en los materiales pétreos, están comenzando a desarrollarse casos de aplicación a materiales óseos (NATALI; TEMPESTI; CARRETTI et ál., 2014).

Teniendo en cuenta la semejanza entre el material pétreo y el material óseo con un avanzado nivel de fosilización, existen en la actualidad líneas de investigación prometedoras sobre la consolidación de piedra que podrían ser aplicadas al material óseo, como por ejemplo la aplicación de soluciones que dan lugar a la formación de hidroxiapatita, o la formación de carbonato de calcio mediante precipitación bacteriana (SASSONI; NAIDU; SCHERER; GEORGE, 2011; DE-MUYNCK, DE-BELIE; VERSTRAETE, 2010; JIMÉNEZ-LÓPEZ; RODRÍGUEZ-NAVARRO; PIÑAR et ál., 2007).

METODOLOGÍA

Material objeto de estudio

Como objeto de estudio y ensayo se han seleccionado fragmentos procedentes de restos de un maxilar y de dos molares pertenecientes a la especie *Palaeoloxodon antiquus* encontrados en los terrenos de la Universidad Pablo de Olavide (UPO), Sevilla. Dicho yacimiento se encuentra en la zona de terrazas del río Guadalquivir; en concreto se han encontrado en la terraza n.º 13, la cual se calcula que puede tener entre 100.000 y 80.000 años (BORJA; BARRAL, 2005).

Estos restos presentan un estado de conservación muy deteriorado, con un nivel de fragilidad bastante elevado. Esto ha conllevado su



fragmentación en numerosas piezas de pequeño tamaño cuya ubicación y procedencia dentro de la estructura ósea se encuentra totalmente perdida (imagen 1). De esta forma, se contaba con la presencia de gran cantidad de pequeños fragmentos sobre los que poder realizar pruebas y ensayos.

Además, entre los restos encontrados existen fragmentos que pertenecen a diferentes estructuras óseas (hueso compacto, hueso esponjoso y esmalte) todas ellas procedentes de un único individuo (imagen 2). Esto nos permite representar la diversidad a la que siempre hay que enfrentarse cuando nos encontramos frente al material óseo.

Los diferentes fragmentos se han contabilizado, fotografiado y documentado con el fin de poder realizar una selección de aquellos que se destinarán al desarrollo de pruebas en el ensayo. Para la selección de los fragmentos se ha tenido en cuenta el tipo de tejido óseo al que pertenecen (poroso, compacto o esmalte).

Tratamientos y productos

Los ensayos propuestos consisten en la realización de varias pruebas con tres productos consolidantes diferentes con el objetivo de observar y comparar la penetración que se alcanza en cada caso.

Imagen 1]

Conjunto de fragmentos óseos y de esmalte pertenecientes a los restos óseos de un *Palaeoloxodon antiquus* hallados en terrenos cercanos a la Universidad Pablo de Olavide. Foto: Estrella Martín Castellano, autora de todas las imágenes del artículo, salvo que se especifique lo contrario

Imagen 2]

Fragmentos de hueso esponjoso, hueso compacto y esmalte, todos ellos pertenecientes a un individuo de la especie *Palaeoloxodon antiquus*

Dentro de los tratamientos tradicionales orgánicos se ha seleccionado la resina sintética conocida por el nombre comercial de Paraloid B-72® por ser uno de los consolidantes más empleados en el mundo de la restauración de huesos y fósiles (JOHNSON, 1994; CARRASCOSA-MOLINER; ANGEL-PERIS; FLORS-UREÑA et ál., 2010; BOSCATO, 2002; CRUZ-ORTEGA; GRACIA; CARRETERO et ál., 2009). El Paraloid B-72® es una resina acrílica a base de etil-metacrilato que se presenta en estado sólido, por lo que se emplea en disolución con disolventes como la acetona.

Como tratamiento inorgánico se ha seleccionado el silicato de etilo. Es un consolidante ampliamente utilizado en la conservación de material pétreo desde las últimas décadas, pero también se tienen referencias sobre su uso en tratamientos de consolidación de material óseo (BISULCA; KRONTHAL-ELKIN; DAVIDSON, 2009; GEA-GARCÍA; WILLKE-LOBATO; HIDALGO-GONZÁLEZ et ál., 2003). Existen varios productos comerciales a base de silicato de etilo, de entre los cuales se ha elegido el producto Estel 1000®, comercializado ya listo para su uso en disolución con White Spirit D40.

Por último, dentro de los consolidantes más actuales se han seleccionado las nanopartículas de hidróxido de calcio, de las que existe al menos una referencia (NATALI; TEMPESTI; CARRETTI et ál., 2014) a su empleo de forma satisfactoria sobre hueso. De los productos comercializados ya listos para su uso se ha seleccionado el conocido Nanorestore®, que se comercializa en dispersión en alcohol isopropílico desnaturalizado.

A continuación se exponen los ensayos a realizar sobre las muestras:

1. Consolidación con Paraloid B-72® disuelto en acetona a diferentes proporciones.

- Aplicación al 5% (p/v).
- Aplicación al 10% (p/v).
- Aplicación al 15% (p/v).

2. Consolidación con nanopartículas de hidróxido de calcio. Aplicación del producto comercial preparado Nanorestore®. El tratamiento se aplicará mediante pincel en tres capas diferentes aplicadas con un intervalo de tiempo de 15 minutos.

3. Consolidación con silicato de etilo. Aplicación del producto comercial Estel 1000® (silicato de etilo) en una única capa mediante pincel.

Selección y preparación de muestras

Para desarrollar estas pruebas se han seleccionado un total de 48 fragmentos. El criterio seguido para la selección de las muestras se

Tratamiento	N.º muestras estructura esponjosa	N.º muestras estructura compacta	N.º muestras esmalte
Resina sintética (Paraloid B-72®)			
5% (p/v)	3	3	3
10% (p/v)	3	3	3
15% (p/v)	3	3	3
	N.º total de muestras: 27		
Nanopartículas de hidróxido de calcio (Nanorestore®)			
Nanorestore®	3	3	3
	N.º total de muestras: 9		
Silicato de etilo (Estel 1000®)			
Estel 1000®	3	3	3
	N.º total de muestras: 9		
Muestras control			
	1	1	1
	N.º total de muestras: 3		
TOTAL DE MUESTRAS NECESARIAS: 27+9+9+3=48			

Tabla 1 |
Número de muestras necesarias en función de los tratamientos

ha basado en el tipo de estructura ósea y en el tamaño y grosor del fragmento.

De esta forma, se han agrupado las muestras en tres grupos: muestras de zona esponjosa, muestras de zona compacta y muestras de esmalte. De cada grupo se ha seleccionado un fragmento como referencia para la comparación de resultados (muestra de control).

Con el objetivo de poder repetir las pruebas en el caso de obtener resultados dudosos, se han destinado tres muestras por grupo para cada una de las modalidades de tratamientos a aplicar (tabla 1).

Limpieza de las muestras

Las muestras destinadas a los diferentes ensayos se han limpiado antes de poder proceder a la aplicación de los tratamientos con el fin de evitar que la suciedad quede fijada por el consolidante aplicado y que dicha suciedad interfiera en la penetración del producto.

En primer lugar se ha realizado una limpieza superficial con brochas, pinceles y bisturís para eliminar las concreciones y depósitos terrosos, seguida de una limpieza semi-acuosa mediante la aplicación de agua desmineralizada y etanol (20% de agua y 80% de etanol) con hisopos de algodón. Por último, se ha aplicado acetona para eliminar

los residuos de agua y alcohol etílico que pudieran haber quedado en la estructura del hueso.

Corte de las muestras

En todas las muestras se ha realizado un corte transversal mediante una sierra, a través del cual se observará posteriormente la penetración alcanzada por los consolidantes. Además, debido a su gran tamaño, algunos de los fragmentos van a ser utilizados para más de un tratamiento, por lo que requieren ser cortados en dos o más piezas.

Lijado de las muestras

La superficie del corte transversal además debe ser lijada hasta conseguir un aspecto liso que permita una observación enfocada con lupa binocular. El lijado de la superficie se ha realizado a mano y en seco, utilizando lijas de diferentes granulometrías en función de la dureza de la muestra.

Marcaje con colorantes

En este estudio se pretende observar la profundidad que alcanzan diferentes productos de consolidación en el material óseo a través de la observación de cortes transversales en las muestras tratadas. Para poder observar dicha penetración es necesario incluir en ellos una sustancia que actúe como indicador o marcador.

Por ello, se ha realizado una búsqueda de colorantes que puedan ser adecuados para observar la penetración de los productos. Se han tenido en cuenta referencias bibliográficas a productos colorantes dentro de estudios e investigaciones de carácter similar al ensayo aquí planteado en los que se emplease como métodos microscópicos de análisis (KUCEROVÁ, 2012; CHANDLER; BRANDON; FRIHART, 2005; GAVRILOVIC-GRMUSA; MILJKÓVIC; DIPOROVIC-MOMCILOVIC et ál., 2008; 2009; DE-MEIJER; THURICH; MILITZ, 2001; AHMAD, 2000; XING; RIELD; CLOUTIER et ál., 2005; ZOGHLAMI, 2003; GÓMEZ-VILLALBA; LÓPEZ-ARCE; FORT et ál., 2011).

Una alternativa planteada al uso de colorantes como marcadores de penetración ha sido su sustitución por pigmentos convencionales o fluorescentes. Chandler, Brandon y Frihart (2005) mencionan la presencia de un 1% de pigmento fluorescente en alguno de los adhesivos analizados.

Ha sido necesario desarrollar una serie de pruebas previas que permitan valorar el nivel de disolución que se consigue en las mezclas colorante-consolidante así como su comportamiento y eficacia como marcadores al aplicarlos sobre el material óseo. Estas pruebas (a y

b) se han desarrollado con pigmento rojo, safranina, azul de metileno, rodamina B y fluoresceína:

a) Pruebas de disolución

- Disolución de pigmentos. Se ha añadido a cada consolidante un 1% (p/p) de pigmento rojo de cadmio.
- Disolución de safranina. Se ha añadido aproximadamente entre un 0,5% y un 1% (p/v) a cada consolidante.
- Disolución de azul de metileno. Se han aplicado algunas gotas de este colorante (entre 15 y 20) en cada consolidante.
- Disolución de rodamina. Se ha añadido aproximadamente entre un 0,5% y un 1% (p/v) a cada consolidante.
- Disolución de fluoresceína. Se ha añadido aproximadamente entre un 0,5% y un 1% (p/v) a cada consolidante.

b) Efectividad de los marcadores

Para evaluar la efectividad de los diferentes colorantes como marcadores de la penetración, se realizaron una serie de pruebas de aplicación de las mezclas preparadas sobre pequeños fragmentos de hueso.

En primer lugar, se realizaron pruebas aplicando sólo los colorantes sobre pequeñas muestras para observar la capacidad de penetración en el material de cada uno de estos productos por sí solos (en disolución con alcohol etílico). Esta prueba sirve como referencia para valorar posteriormente si la penetración de las mezclas consolidante-colorante aplicadas corresponde a la profundidad alcanzada por la mezcla o si se debe a las características del colorante.

Después de realizar estas pruebas con los colorantes por sí solos, se procedió a repetir el proceso utilizando las mezclas de colorantes y consolidantes. Cada una de las mezclas fue aplicada sobre las tres estructuras óseas analizadas: porosa, compacta y esmalte.

La penetración marcada por cada colorante será la máxima profundidad a la que el medio disolvente de cada consolidante es capaz de conducirlo, y dependerá tanto de la buena disolución del colorante con dicho solvente como de la afinidad con el sustrato óseo. Sin embargo, las partículas de los consolidantes pueden formar agregados o polimerizarse en capas superiores sin llegar a alcanzar la profundidad que marca el colorante. Por tanto, este método de marcaje nos indicará una aproximación de la penetración máxima que ha podido alcanzar cada uno de los productos de consolidación.

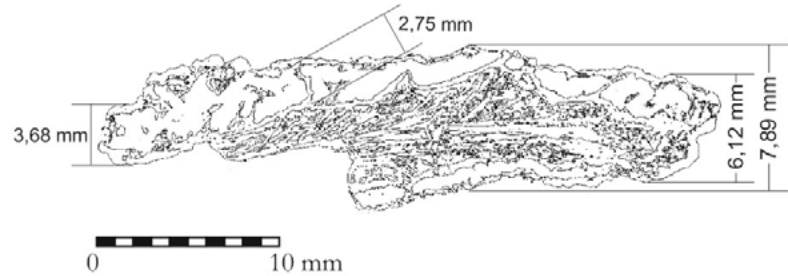


Imagen 3]

Gráfico de un fragmento de esmalte que muestra sus dimensiones principales

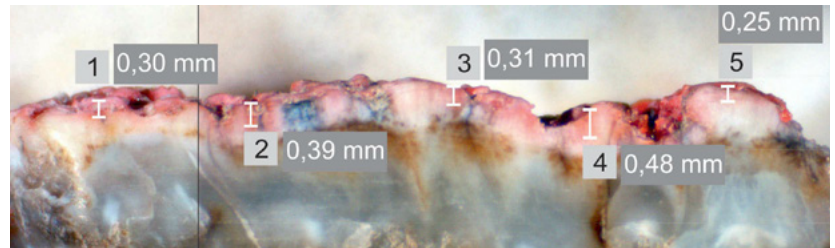


Imagen 4]

Conjunto de las medidas tomadas en los 5 puntos seleccionados de la superficie del corte transversal de una de las muestras

Métodos de análisis

Como método de análisis se ha empleado la observación y toma de fotografías mediante lupa binocular (modelo: Leica GZ6, con doble haz de luz reflejada dirijible). Este instrumento se ha utilizado para la observación previa de las características superficiales y estructurales de las muestras a tratar, y para controlar los resultados de pruebas previas y los resultados finales. Dentro de los aumentos permitidos por este instrumento se han utilizado principalmente 12x, 25x y 50x.

Para la medición de la profundidad se han utilizado fotografías realizadas con la lupa binocular y gráficos con las dimensiones de las muestras (imagen 3). A partir de ellos se han podido establecer referencias entre las fotografías con aumento y las dimensiones reales para medir sobre ellas la profundidad marcada. En cada muestra se han tomado cinco puntos de la superficie del corte transversal en los que se han medido las profundidades utilizando el *software* Autocad (imagen 4).

RESULTADOS

En este trabajo se ha propuesto un ensayo de consolidación sobre material óseo en el que se han utilizado tres consolidantes diferentes. Mediante la aplicación de un colorante que permita marcar visualmente dichos productos, se pretende estudiar la penetración alcanzada en el hueso por cada uno de ellos. En este aspecto debemos recordar que



Imagen 5]

Pruebas de disolución con diferentes mezclas de colorantes y consolidantes. De izquierda a derecha: mezclas de consolidantes con pigmento rojo; mezclas de consolidantes con azul de metileno y safranina; mezclas de consolidantes con rodamina B; mezclas de consolidantes con fluoresceína

Imagen 6]

A la izquierda, detalle de la decantación de pigmento rojo en una de las mezclas. A la derecha, detalle del resultado que se produce en la mezcla de safranina y Estel 1000 en el que se observan las partículas de safranina en suspensión sin aportar coloración a la mezcla

la penetración marcada por el colorante seleccionado será la máxima profundidad que ha podido alcanzar cada producto de consolidación, y por tanto en los resultados se hace referencia siempre a penetración máxima. Para una información más detallada y exacta sería necesario desarrollar en el futuro diferentes análisis químicos con los que contrastar los resultados aquí presentados.

Disoluciones colorante-consolidante

A continuación se exponen los resultados de las pruebas de disolución con los diferentes consolidantes y colorantes (imagen 5), con las que se ha comprobado el comportamiento que presentan cuando se mezclan.

- Disolución de pigmentos. Estas mezclas dieron un resultado muy poco homogéneo al quedar gran parte del pigmento decantada en el fondo tras dejar reposar la mezcla (imagen 6).
- Disolución de safranina. La disolución con Paraloid y Nanorestore fue correcta, quedando algunas partículas de safranina sin disolver y decantadas, pero éstas suponen una cantidad poco relevante. En la disolución con Estel 1000 el colorante no se disolvía correctamente, sino que las partículas de safranina quedaban en suspensión y apenas aportaban color al medio. Para solucionar este problema se realizó una disolución previa de safranina en alcohol etílico (proporción: 1g safranina 100 ml alcohol) y se añadieron unas gotas de dicha disolución al consolidante Estel 1000.

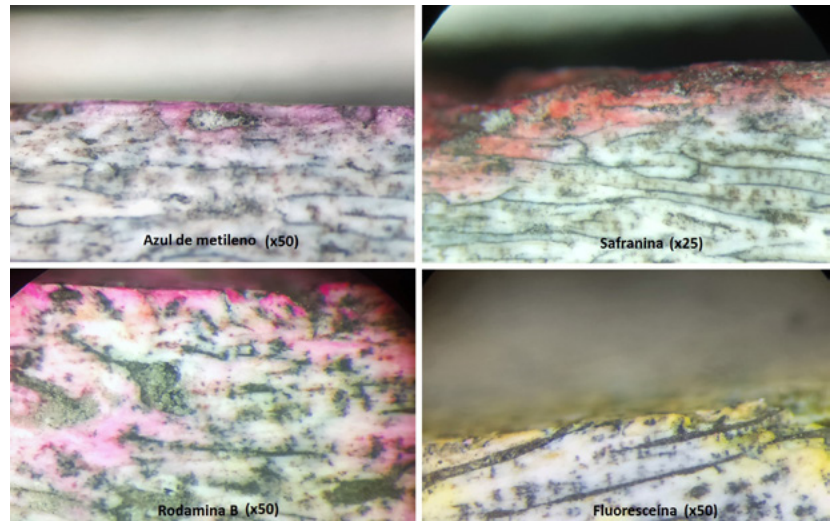


Imagen 7]

Fotografías con lupa binocular de las penetraciones alcanzadas por cada uno de los colorantes seleccionados (safranina, azul de metileno, fluoresceína y rodamina B) tras ser aplicados individualmente en disolución con alcohol etílico sobre pequeños fragmentos

- Disolución de azul de metileno. Se produjo una disolución correcta en todos los medios solventes. Tan solo en el caso del Estel 1000 ha sido necesaria una agitación de la mezcla más prolongada, pero tras ella la solución ha permanecido estable.
- Disolución de rodamina. Este colorante se ha disuelto correctamente, proporcionando una coloración muy intensa a las mezclas. Se decanta una pequeña cantidad de partículas, pero no es relevante para el conjunto de la mezcla.
- Disolución de fluoresceína. La disolución con los diferentes consolidantes ha sido satisfactoria en todos los casos, produciendo coloraciones amarillas o anaranjadas.

Efectividad de marcadores

En primer lugar, se presentan los resultados de las pruebas en las que se aplicaron los colorantes por sí solos. En la imagen superior se observa la penetración alcanzada por cada uno de los colorantes. De acuerdo a estos resultados, la safranina y la rodamina presentan una capacidad de penetración en el sustrato óseo mayor que la del azul de metileno y la fluoresceína, que se permanecen a nivel más superficial.

Por otro lado, en la tabla 2 se recogen los resultados de las pruebas realizadas con las mezclas de colorantes y consolidantes.

Penetración alcanzada

De las 48 muestras seleccionadas para el ensayo, 45 han recibido los diferentes tratamientos de consolidación siguiendo los proce-

Tipo de muestra	Colorante	Resultado/Consolidante		
		Paraloid	Nanorestore	Estel 1000
Porosa	Azul de metileno	Coloración leve. Distribución irregular	La capa superficial queda levemente teñida	Coloración superficial muy leve
	Safranina	Mayor penetración pero aún a nivel muy superficial	Mayor nivel de penetración. Distribución irregular	Coloración más intensa y homogénea. Penetración escasa
	Rodamina	Penetración más acentuada y con mucha irregularidad	Penetración muy irregular, influenciada por los alveolos	Mayor nivel de penetración
	Fluoresceína	Penetración escasa pero algo más homogénea	Penetración algo mayor, pero aún bastante reducida	Capa irregular; dificultades para observar la penetración
Compacta	Azul de metileno	Coloración muy leve y sólo a nivel superficial	Coloración sólo en superficie	Coloración más leve e irregular. Sólo se aprecia en superficie
	Safranina	Buena coloración, penetración muy superficial	Mayor nivel de penetración	La coloración es más leve y sólo se observa de forma superficial
	Rodamina	Se observa una penetración mucho más elevada	Penetración similar a la del caso anterior	Penetración elevada
	Fluoresceína	Capa bastante superficial y homogénea	Capa muy delgada, superficial y homogénea	Capa irregular y penetración escasa
Esmalte	Azul de metileno	Coloración muy leve y a nivel superficial	Coloración muy leve y a nivel superficial	Diferentes niveles de penetración en función de la estructura del material (presencia de grietas)
	Safranina	Formación de una capa evidente y superficial	Penetración más elevada, irregular por la estructura	Menor penetración que en porosa y compacta, pero permite su observación
	Rodamina	Penetración en general leve, irregular por la estructura	Penetración en general leve, irregular por la estructura	Mayor penetración, sobre todo en zonas con fisuras
	Fluoresceína	Capa más o menos homogénea pero bastante superficial	Formación de una capa bastante superficial	Capa irregular y superficial

Tabla 2] Resultados de las pruebas de aplicación de las mezclas consolidante-colorante en pequeños fragmentos de hueso para analizar su efectividad

dimientos explicados en el apartado de materiales y metodología. Todos los productos consolidantes han sido aplicados junto con una pequeña cantidad de safranina para conseguir la tinción de las muestras.

Para la medición de la profundidad se han tomado cinco puntos de la superficie del corte transversal de cada una de las muestras. Posteriormente se ha calculado la profundidad media de esos cinco puntos analizados.

Para conocer la precisión de los resultados de penetración obtenidos, se ha calculado el valor de la desviación estándar (DE) entre las 5 medidas tomadas en cada muestra (tabla 3). La desviación estándar es una medida de dispersión que indica lo que se apartan los datos de su media, por lo que sirve para conocer la precisión de dichos resultados, que en este caso se relaciona con la homogeneidad de penetración alcanzada.

DISCUSIÓN

Material óseo como patrimonio

El valor como patrimonio cultural de los restos óseos y fósiles radica principalmente en su importancia científica y en el interés que despiertan en el público. Sin embargo, estos restos no constituyen sólo una forma de patrimonio cultural, sino que también son un patrimonio natural que puede aportar mucha información sobre los medios naturales del pasado (BERNÁLDEZ-SÁNCHEZ, 2004).

No debemos olvidar que el material óseo, al igual que otros materiales, ha sido utilizado desde los inicios prehistóricos del arte como materia prima para utensilios (MARTÍNEZ-MORENO, 2005; ALDAY, 2011), que en muchas ocasiones eran decorados con grabados (BARANDIARÁN, 1971; ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, 2011), o que incluso constituían o formaban parte de objetos con un carácter más artístico. Por otra parte, el marfil ha sido un material muy empleado para la elaboración de esculturas y otras obras de arte. En estos casos habría que sumar a su valor cultural y natural el interés puramente artístico. Buena parte del interés que despiertan los fósiles y subfósiles, aparte del carácter artístico de algunos de ellos, viene dado por la información científica que transmiten acerca del pasado. Para poder llegar hasta dicha información, se emplean sobre los materiales óseos numerosas técnicas de estudio y análisis. De forma tradicional, estos estudios se basaban en las características anatómicas y biométricas de los restos óseos. En la actualidad, estas técnicas han dado paso progresivamente a la utilización de nuevos y numerosos análisis que emplean

Muestra	Estructura	Tratamiento	DE	DE (n=15)	Penetración media (mm)
N.º 1	Esponjosa	Paraloid 5%	0,21	0,47	0,63
N.º 2	Esponjosa	Paraloid 5%	0,27		0,96
N.º 3	Esponjosa	Paraloid 5%	0,76		0,96
N.º 4	Esponjosa	Paraloid 10%	0,22	0,40	1,04
N.º 5	Esponjosa	Paraloid 10%	0,33		0,59
N.º 6	Esponjosa	Paraloid 10%	0,21		1,36
N.º 7	Esponjosa	Paraloid 15%	0,12	0,16	0,35
N.º 8	Esponjosa	Paraloid 15%	0,07		0,49
N.º 9	Esponjosa	Paraloid 15%	0,23		0,52
N.º 10	Compacta	Paraloid 5%	0,08	0,10	0,20
N.º 11	Compacta	Paraloid 5%	0,09		0,33
N.º 12	Compacta	Paraloid 5%	0,05		0,18
N.º 13	Compacta	Paraloid 10%	0,08	0,11	0,20
N.º 14	Compacta	Paraloid 10%	0,06		0,29
N.º 15	Compacta	Paraloid 10%	0,10		0,12
N.º 16	Compacta	Paraloid 15%	0,06	0,09	0,15
N.º 17	Compacta	Paraloid 15%	0,08		0,23
N.º 18	Compacta	Paraloid 15%	0,12		0,20
N.º 19	Esmalte	Paraloid 5%	0,20	0,18	0,48
N.º 20	Esmalte	Paraloid 5%	0,05		0,30
N.º 21	Esmalte	Paraloid 5%	0,22		0,40
N.º 22	Esmalte	Paraloid 10%	0,10	0,24	0,21
N.º 23	Esmalte	Paraloid 10%	0,09		0,21
N.º 24	Esmalte	Paraloid 10%	0,39		0,39
N.º 25	Esmalte	Paraloid 15%	0,07	0,05	0,16
N.º 26	Esmalte	Paraloid 15%	0,04		0,16
N.º 27	Esmalte	Paraloid 15%	0,04		0,14
N.º 28	Esponjosa	Nanorestore	0,49	0,63	1,11
N.º 29	Esponjosa	Nanorestore	0,40		0,78
N.º 30	Esponjosa	Nanorestore	0,74		1,60
N.º 31	Compacta	Nanorestore	0,38	0,60	0,61
N.º 32	Compacta	Nanorestore	0,21		0,54
N.º 33	Compacta	Nanorestore	0,54		1,65
N.º 34	Esmalte	Nanorestore	0,52	0,34	0,99
N.º 35	Esmalte	Nanorestore	0,26		0,80
N.º 36	Esmalte	Nanorestore	0,11		0,59
N.º 37	Esponjosa	Estel 1000	0,17	0,32	1,11
N.º 38	Esponjosa	Estel 1000	0,17		0,66
N.º 39	Esponjosa	Estel 1000	0,14		0,44
N.º 40	Compacta	Estel 1000	0,20	0,22	0,63
N.º 41	Compacta	Estel 1000	0,10		0,37
N.º 42	Compacta	Estel 1000	0,12		0,35
N.º 43	Esmalte	Estel 1000	0,12	0,21	0,23
N.º 44	Esmalte	Estel 1000	0,23		0,28
N.º 45	Esmalte	Estel 1000	0,24		0,46

Tabla 3|

Desviación estándar de cada uno de los conjuntos de 5 tomas de medidas realizados

diversos equipos electrónicos: espectrómetro de masas para la realización de análisis isotópicos, microscopio electrónico de barrido, etc. (RIQUELME-CANTAL, 2011).

En el presente, son numerosas las líneas de investigación en las que el material óseo es protagonista. A las ya asentadas investigaciones sobre paleoeconomía y paleoambiente se unen otras líneas más innovadoras relacionadas con el empleo de analíticas de isótopos estables, muy utilizado en la determinación de paleodietas (MAC FADDEN; CERLING, 1996; BOCHERENS; BILLIOU; PATOU-MATHIS et ál., 1999; BOCHERENS; DRUCKER, 2003; KOHN; MELVER-LAW, 2006; CERVERA-AÑÓN, 2012; SERRULLA-RECH, 2011), y ADN antiguo en huesos de mamíferos (EDWARDS, 2004; RIQUELME-CANTAL, 2011; LIRA, 2009; VALDIOSERA, 2011; ADLER; HAAK; DONLON et ál., 2011; CAMPOS; CRAIG; TURNER-WALKER et ál., 2012; WANG; ZHU; WANG et ál., 2015).

La definición que el ICOM hace de la profesión de conservador-restaurador en su documento *El conservador-restaurador: definición de una profesión* hace referencia a la necesidad de que el restaurador sea consciente de la naturaleza documental de los objetos que interviene, de modo que se hace necesario un trabajo en cooperación con los demás expertos implicados para poder preservar la información que estos objetos transmiten. Además, se incide en que el restaurador debe tener en cuenta que el riesgo de manipulación o transformación de los objetos va intrínseco con cualquier medida de conservación o restauración (BALLESTREM, 1984).

Muchos de los productos utilizados en la conservación-restauración, especialmente las resinas sintéticas, pueden provocar interferencias en este tipo de análisis, dificultando su desarrollo y haciendo que como consecuencia los resultados no sean fiables. Éste es uno de los grandes problemas que supone la aplicación de tratamientos consolidantes a base de resinas sintéticas sobre un resto óseo o fósil, pues las resinas crean una capa superficial sobre el material que impide una observación adecuada de la superficie del mismo con un microscopio óptico o electrónico. Además, muchos pueden llegar a interferir en análisis de ADN, de isótopos estables y en dataciones mediante ^{14}C (EKLUND; THOMAS, 2010; LÓPEZ-POLÍN, 2012). Por ello, es interesante poder conocer la penetración que este tipo de sustancias alcanzan dentro del hueso o fósil y poder así establecer las zonas del material aptas para análisis sin interferencias de productos ajenos.

Selección del método de marcaje

Las mezclas de consolidante y pigmento no ofrecieron resultados satisfactorios. En todos los casos el pigmento se ha repartido de forma

irregular por la superficie y el tamaño de sus partículas ha impedido que llegue a penetrar en el sustrato óseo.

Las mezclas con azul de metileno han ofrecido un mejor resultado, aunque no totalmente adecuado. En este caso sí se observa la formación de capas o películas en las secciones transversales, pero las dimensiones son en todos los casos muy similares. Esto indicaría una penetración muy parecida por parte de todos los consolidantes, algo que por sus características no es lo más probable. Si comparamos los resultados con los obtenidos en la prueba inicial con azul de metileno aplicado por sí solo puede verse que las penetraciones alcanzadas son muy similares y que por tanto ésta es la profundidad máxima que puede alcanzar este producto, independientemente del consolidante y disolvente con el que se combine.

Con la safranina parecen obtenerse resultados más satisfactorios. Con este colorante la penetración máxima alcanzada en cada aplicación varía según el consolidante empleado, siendo mayor en el caso del Nanorestore y más superficial en el caso del Paraloid y el Estel 1000.

Las pruebas realizadas con rodamina ofrecen unos resultados en los que se observa bastante bien el grado de penetración máxima alcanzado. Dicha penetración es más elevada que en el caso del azul de metileno, pero igualmente bastante similar en todos los productos consolidantes aplicados.

En cuanto a la fluoresceína, proporciona una coloración muy intensa que hace que las capas formadas sean bastante definidas. Sin embargo, la penetración que se observa es en todos los casos bastante parecida, independientemente del producto utilizado.

Tras realizar estas pruebas, se tomó la decisión de emplear como método de marcaje para el desarrollo del ensayo final la tinción con safranina. De todas las sustancias colorantes utilizadas ha sido la única que, mostrando una coloración suficiente para poder distinguir la penetración alcanzada, ofrece diferentes resultados en función del producto consolidante empleado en la mezcla y también en función del tipo de estructura ósea sobre la que se aplica. Además, se tienen varias referencias sobre el uso de este producto en estudios de penetración (CHANDLER; BRANDON; FRIHART, 2005; GAVRILOVIC-GRMUSA; MILJKÓVIC; DIPOROVIC-MOMCILOVIC et ál., 2008; 2009).

Penetración alcanzada

Paraloid B-72®

El comportamiento de esta resina sintética se ve influenciado por la

concentración con la que se aplica, pero sobre todo por el tipo de estructura ósea sobre el cual se utiliza.

En general, las diferentes proporciones de resina utilizada no ofrecen tantas diferencias de penetración como se esperaba, ofreciendo las mezclas de 5 y 10% resultados similares. Es en el caso del Paraloid al 15% donde se marca una diferencia mayor, siendo esta proporción la que menos penetra en todos los casos.

En la estructura esponjosa la distribución de dicha penetración es bastante irregular debido a la presencia de numerosos alveolos en este tipo de estructura ósea. Esta irregularidad puede observarse en la SD de las muestras de Paraloid B-72® sobre estructura esponjosa, más elevados que los obtenidos en las muestras compactas.

En las muestras de estructura compacta se produce una profundidad máxima bastante menor (gráficos 1, 2 y 3), y la distribución de la penetración es en general mucho más regular, como puede verse en los bajos valores de la desviación estándar en estos casos.

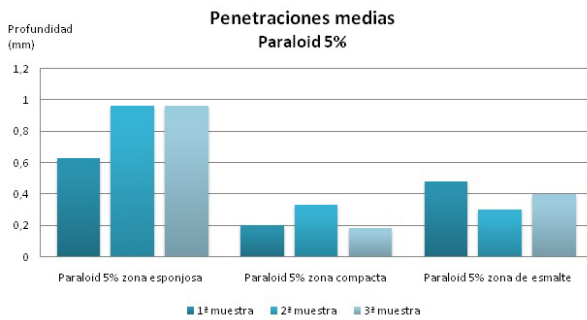


Gráfico 1] Penetración media del Paraloid al 5% en cada muestra. Resultados agrupados según la estructura ósea

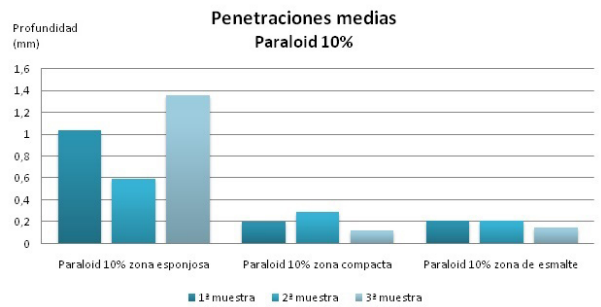


Gráfico 2] Penetración media del Paraloid al 10% en cada muestra. Resultados agrupados según la estructura ósea

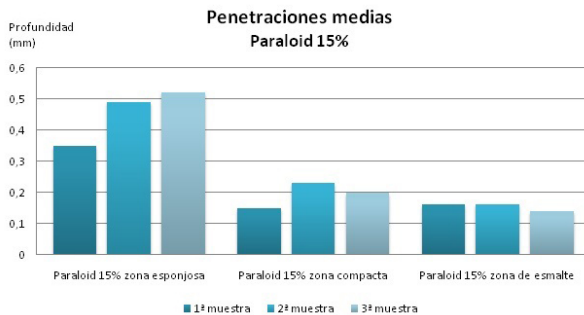


Gráfico 3] Penetración media del Paraloid al 15% en cada muestra. Resultados agrupados según la estructura ósea

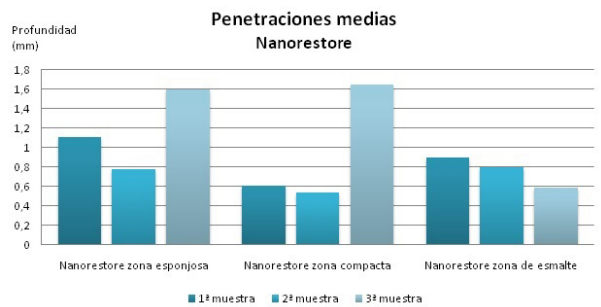


Gráfico 4] Penetración media del Nanorestore en cada muestra. Resultados agrupados según la estructura ósea

Las muestras de esmalte señalan diferencias de penetración por la propia irregularidad de su estructura interna. En este caso los valores de la desviación estándar son muy dispares, mayores cuando se utilizan las proporciones de resina más bajas que con las elevadas.

Nanorestore®

Por los resultados obtenidos (gráficos 6, 7 y 8) este consolidante es el producto que mayor penetración puede llegar a alcanzar en todas las estructuras óseas. Este hecho se evidencia sobre todo en las muestras compactas (gráfico 7) y de esmalte (gráfico 8), en las que la penetración alcanzada, en comparación con el resto de los consolidantes, es mucho mayor. En la estructura esponjosa es también Nanorestore® el producto que mayor capacidad de penetración muestra, pero las diferencias no son tan pronunciadas.

En cuanto a la penetración alcanzada según el tipo de estructura ósea, las diferencias no son demasiado grandes, pero de acuerdo con el gráfico 5 podría establecerse el siguiente orden: muestras esponjosas > muestras compactas > muestras de esmalte.

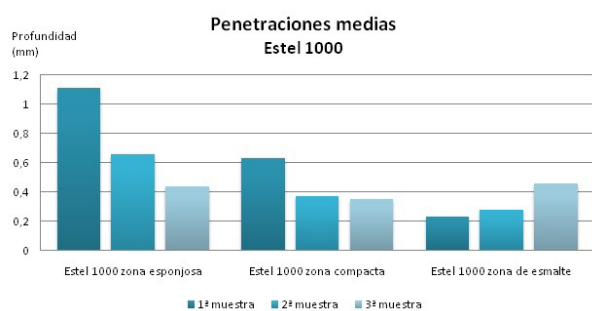


Gráfico 5] Penetración media del Estel 1000 en cada muestra. Resultados agrupados según la estructura ósea

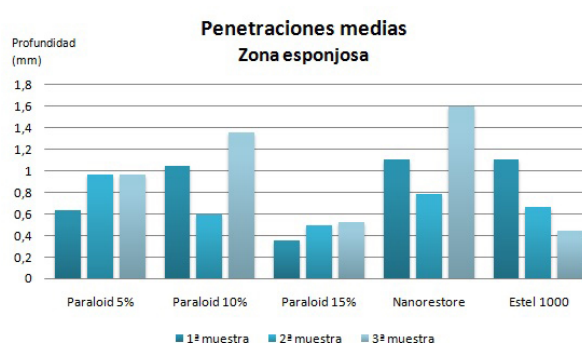


Gráfico 6] Penetración media de los consolidantes en las muestras esponjosas

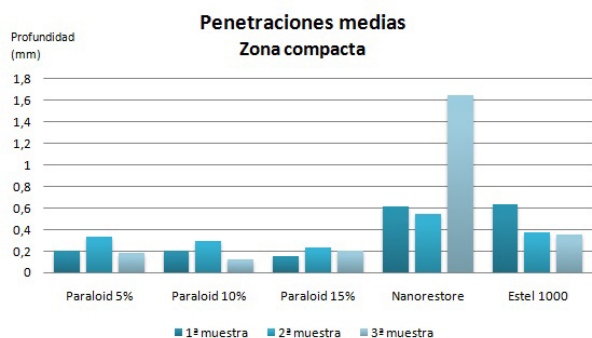


Gráfico 7] Penetración media de los consolidantes en las muestras compactas

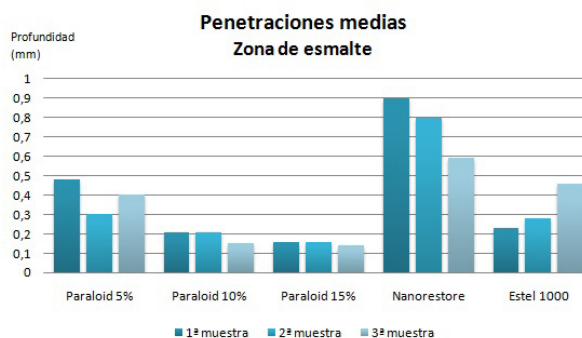


Gráfico 8] Penetración media de los consolidantes en las muestras de esmalte

La distribución de este consolidante a lo largo de la superficie del corte transversal es bastante irregular en la zona porosa y en el esmalte, pero algo más uniforme en las muestras de estructura compacta.

Estel 1000

La penetración máxima que puede alcanzar este consolidante es, en general, más escasa que la del Nanorestore y bastante parecida a la del Paraloid B-72 (gráficos 6, 7 y 8). Es en las muestras de estructura esponjosa donde mayor penetración se observa, seguidas de las compactas y por último las de esmalte (gráfico 5). En cuanto a la distribución de la penetración, resulta poco homogénea, especialmente en la zona de esmalte donde se ve muy influenciada por la estructura interna de las muestras.

CONCLUSIONES

Este trabajo ha planteado la necesidad de estudiar y conocer el material óseo, así como de desarrollar investigaciones que nos ayuden a minimizar o evitar las posibles interferencias y contaminaciones que se producen al tratar el material con productos ajenos a él (LÓPEZ-POLÍN, 2012). El ensayo realizado ha servido como punto de partida para poder establecer una serie de pautas y recomendaciones que faciliten el trabajo tanto del conservador-restaurador como del investigador y demás personal relacionado con la recuperación, estudio y puesta en valor del material paleontológico y/o paleobiológico. Además, se busca con estas recomendaciones hacer compatible la conservación física de estos restos con el desarrollo de los diferentes análisis y estudios que permiten obtener la información científica que transmiten.

Para poder plantear este protocolo de actuación hay que tener en cuenta que, dada la gran cantidad de material óseo que puede aparecer en un yacimiento, no siempre es posible la conservación y restauración de todos los restos. Por ello, es necesario establecer prioridades basadas en el interés científico de los hallazgos, en su estado de conservación u otros factores que puedan resultar de interés.

Al marcar estas prioridades, la comunicación entre los diferentes investigadores expertos en la materia y los conservadores debe ser continua, siendo la opinión de ambos profesionales igualmente importante para establecer categorías y prioridades que permitan la adecuada conservación y estudio de los restos óseos o fósiles que puedan aportar información útil. Por tanto, la presencia de investigadores y conservadores-restauradores en los yacimientos con restos paleontológicos es primordial: el investigador debe establecer las prioridades de investigación según la relevancia de las piezas y comu-

nicar al restaurador las necesidades que requieren los posibles estudios que vayan a realizarse sobre ellas; el restaurador por su parte, además de realizar tratamientos de conservación *in situ*, se encargará de establecer prioridades en función del estado de conservación de los restos, así como de tomar las medidas y prevenciones necesarias para cumplir las necesidades de los futuros análisis.

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, el conservador-restaurador puede establecer una serie de pautas que le guíen a la hora de trabajar. Los diferentes productos consolidantes que han sido utilizados en el ensayo cuentan con unas características que los convierten en ventajosos para ciertas situaciones e inapropiados para otras, por lo que no existe el consolidante perfecto que cubra las necesidades de todos los casos.

Tras el estudio aquí realizado se establecen las siguientes recomendaciones de actuación:

1. Casos generales de conservación *in situ*. El producto más indicado es el Paraloid, debido a la rapidez de su actuación, imprescindible en procesos de extracción. Recomendaciones para su aplicación:

- Evitar, siempre que sea posible, la aplicación sobre zonas de estructura esponjosa, pues en esta zona la penetración será mayor y la reversibilidad menor.
- Siempre que el estado de conservación lo permita, emplear concentraciones entre el 10% y 20%. Con el 10% se consigue una buena consolidación y no penetra tanto como una concentración al 5%. A partir de un porcentaje mayor de 15-20% la capa superficial que forma esta resina es bastante densa y evidente a la vista.
- Dejar siempre que sea posible una zona del material sin intervenir, de aproximadamente 1 o 2 cm² (tamaño en función de las dimensiones de la pieza).
- Realizar un informe técnico que recoja los tratamientos aplicados con el mayor detalle.

2. Conservación *in situ*, casos especiales. En casos en los que el aporte orgánico que supone la resina sintética (Paraloid B-72) pueda causar problemas e interferencias en futuros análisis, y si las circunstancias de conservación de los restos lo permiten, podría prolongarse el tiempo de extracción de los mismos y emplear Nanorestore (3 capas, una cada 15 minutos) como método de consolidación.

En este caso la actuación no es inmediata y la penetración del consolidante puede ser mayor, pero la contaminación que implica, al ser de naturaleza inorgánica, es menor. Recomendaciones:

- Si es posible, dejar una zona de material sin intervenir.
- Realizar un informe técnico sobre los tratamientos aplicados.

3. Conservación-restauración en laboratorio. La comunicación entre el restaurador y el investigador debe continuar cuando la pieza llega al laboratorio de restauración. En los trabajos de conservación y restauración realizados en laboratorio, donde el tiempo de actuación de los productos ya no es un factor crucial, se recomienda:

- Disminuir el uso de Paraloid y sustituirlo por Nanorestore en todos los casos en los que sea posible.
- En piezas con estado de conservación muy crítico (faltas de cohesión importantes), utilizar Nanorestore al menos en las zonas porosas y Paraloid en el hueso compacto.
- Mantener, si es posible, una zona de material sin intervenir.
- Realizar un informe técnico sobre los tratamientos aplicados.

El desarrollo tanto del trabajo teórico como del ensayo práctico ha supuesto la obtención de una metodología científica con la que abordar el planteamiento de intervenciones de conservación-restauración sobre material óseo y fósil de forma más adecuada. Pueden sacarse las siguientes conclusiones del estudio realizado:

- El método de preparación de las muestras y el ensayo desarrollado han permitido analizar de forma aproximada la penetración máxima que pueden alcanzar cada uno de los productos empleados, si bien sería conveniente completar los resultados en el futuro con otras técnicas de análisis para obtener una información más exacta y precisa. Se ha podido comprobar que dicha penetración es en general irregular y bastante dependiente tanto del tipo de estructura ósea como del producto aplicado.

En general, la estructura ósea en la que mayor penetración pueden llegar a alcanzar todos los consolidantes aplicados es la esponjosa.

El Nanorestore® es el producto que más penetración puede alcanzar en la mayor parte de los casos, mientras que el Estel 1000® y el Paraloid® presentan penetraciones más reducidas y similares entre sí.

Tanto Nanorestore® como Estel 1000® cuentan con la ventaja de ser de naturaleza inorgánica, al igual que el sustrato óseo, y por tanto las interferencias que pueden producir en los análisis posteriores es menor.

- El ensayo desarrollado ha permitido establecer una serie de recomendaciones y pautas a la hora de intervenir sobre material óseo que pueden ayudar a tanto a conservar mejor el material como a reducir las interferencias en futuras analíticas.

No existe el consolidante ideal para todos los casos. Por ello, es necesario conocer el material a tratar y el comportamiento de los diferen-

tes productos para poder adaptar cada intervención a las necesidades concretas del material.

Como medida preventiva, es recomendable dejar siempre una zona del material sin tratar. En ella se podrán realizar sin problema futuros estudios y analíticas.

Se ha evidenciado la necesidad de una colaboración y comunicación constante entre el conservador-restaurador y el equipo de investigación para que la conservación del material y el desarrollo de investigaciones científicas sea posible y compatible. Uniendo el trabajo de ambos, se podrá determinar con mayor facilidad qué se conserva, qué se estudia y cómo se compatibilizan ambas.

BIBLIOGRAFÍA

- AHMAD, M.** (2000)
 Chapter 6: Penetration of Liquid Phenol Formaldehyde and Polymeric Diphenylmethane Diisocyanate Adhesive into calcutta Bamboo. En *Analysis of calcutta bamboo for structural composite materials* (Trabajo de grado). Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, pp. 132-153 <<https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-08212000-10440027/unrestricted/Chapter6.pdf>> [Consulta: 22/12/2016]
- ALDAY, A.; JUEZ, L.; PÉREZ-ROMERO, A. et ál.** (2011)
 La industria osea de El Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos). Biapuntados, puntas de flecha y agujas, morfología y funcionalidad. *Munibe*, n.º 65, pp. 227-249
- ADLER, C. J.; HAAK, W.; DONLON, D. et ál.** (2011)
 Survival and recovery of DNA from ancient teeth and bones. *Journal of Archaeological Science*, vol. 38, 2011, pp. 956-964
- ALTUNA, J.** (1963)
 Fauna de los mamíferos del yacimiento prehistórico de Aitzbitarte IV. *Munibe*, XV (3-4), 1963, pp. 105-124
- ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, V.** (2011)
 Redescubrimiento de una cabeza de cabra realizada en hueso a partir de los diarios del anticuario asturiano Sebastián de Soto Cortés. *Munibe*, n.º 62, pp. 135-144
- ANDREWS, P.; FERNANDEZ-JALVO, Y.** (1997)
 Surface modifications of the Sima de los Huesos fossil humans. *Journal of Human Evolution*, vol. 33, n.º 2-3, pp. 191-217
- BALLESTREM, A.** (1984)
The Conservator-restorer: a definition of the profession [en línea] Copenhague: ICOM, 1984 <http://icom.museum/fileadmin/user_upload/pdf/professions/Theconservator-restorer.pdf> [Consulta: 30/11/2016]
- BARANDIARÁN, I.** (1971)
 Hueso con grabados paleolíticos, en Torre (Oyazun, Guipúzcoa). *Munibe*, vol. 23, fascículo 1, 1971, pp. 37-69
- BEHRENSMEYER, A. K.** (1982)
 Time resolution in fluvial vertebrate assemblages. *Paleobiology*, vol. 8, n.º 3, 1982, pp. 211-227
- BERNÁLDEZ SÁNCHEZ, E.** (1989)
 Morphometric evolution in *Oryctolagus cuniculus* L. During Holocen in SW of the Iberian Peninsula. En *Program: Fifth International Theriological Congress, Rome, 22/29 August 1989*. Rome, Italy: Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo Università di Roma, La Sapienza, 1989
- BERNÁLDEZ SÁNCHEZ, E.** (1991)
Diet of the Monks at the Cartuja de Sevilla in XVTh through XVIIIth Centuries. International Council for Archaeozoology. Washington (EEUU), 1991
- BERNÁLDEZ SÁNCHEZ, E.** (1996)
Bioestratinomía de macromamíferos terrestres de Doñana. Inferencias ecológicas en los yacimientos arqueológicos del S.O. de Andalucía. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, 1996
- BERNÁLDEZ, E.** (2010)
 Basureros Arqueológicos: 8000 años de historia nos esperan. En HITA, J. M.; SUÁREZ PADILLA, J.; VILLADA PAREDES, F. (coord.) *Comer en Ceuta en el siglo XIV. La alimentación durante la época mariní*. Ceuta: Ciudad Autónoma de Ceuta, 2010, pp. 11-32
- BERNÁLDEZ-SÁNCHEZ, E.** (2004)
 ¿Cómo difundir el patrimonio que un día nos comimos? La investigación paleobiológica. En SÁNCHEZ DE LAS HERAS, C. (coord.) *VII Jornadas Andaluzas de Difusión de Patrimonio Histórico*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, 2004, pp. 75-90
- BERNÁLDEZ, E.; BERNÁLDEZ, M.** (2005)
 Huesos de animales que cuentan historias de hombres. La Paleobiología, la Bioestratinomía y la Tafonomía ciencias básicas en la Arqueología. En *Actas de las XIX Jornadas de Patrimonio de la Comarca de la Sierra, Jabugo (Huelva)*. Huelva: Diputación Provincial de Huelva, 2005, pp. 219-255
- BINDFORT, L.** (2001)
Constructing frames of reference: an analytical method for archaeological theory building using hunter-gatherer and environmental data sets. Berkeley: University of California Press, 2001
- BISULCA, C.; KRONTHAL-ELKIN, L.; DAVIDSON, A.** (2009)
 Consolidation of fragile fossil bone from UkhaaTolgod, Mongolia (late cretaceous) with conservare OH100. *Journal of the American Institute for Conservation*, vol. 48, n.º 1, 2009, pp. 37-50
- BOCHERENS, H.; BILLIOU, D.; PATOU-MATHIS, M. et ál.** (1999)
 Palaeoenvironmental and palaeodietary implications of isotopic biogeochemistry of late interglacial Neandertal

and mammal bones in Scladina Cave (Belgium). *Journal of Archaeological Science*, n.º 26, 1999, pp. 599-607

BOCHERENS, H.; DRUCKER, D. (2003)

Reconstructing Neandertal diet from 120,000 to 30,000 BP using carbon and nitrogen isotopic abundances. En PATOU-MATHIS, M.; BOCHERENS H. (ed.) *Le rôle de l'environnement dans les comportements des chasseurs-cueilleurs préhistoriques*. Oxford: British Archaeopress, 2003, pp. 1-7

BORJA, F.; BARRAL, M. A. (2005)

Evolución histórica de la Vega de Sevilla. Estudio de Geoarqueología urbana. En JIMÉNEZ, A. (ed.) *La Catedral en la ciudad (I). Sevilla, de Astarté a San Isidoro*. Sevilla: Aula Hernán Ruiz; Catedral de Sevilla, 2005, pp. 5-36

BOSCATO, P. (2002)

Consolidación y extracción del material óseo en el paleosuelo de Isernia la Pineta. En *Arqueología, restauración y conservación: la conservación y la restauración hoy*. Guipúzcoa: Nerea, 2002, pp. 27-36

BRAIN, C. K. (1980)

Some criterios for the recognition of bone-collection agencies in African caves. En BEHERSMAYER, A. K.; HILL, A. P. (ed.) *Fossils in the making. Vertebrate taphonomy and paleoecology*. Chicago: The University of Chicago Press, 1980, pp. 108-130

CAMPOS, P. F.; CRAIG, O. E.; TURNER-WALKER, G. et ál. (2012)

DNA in ancient bone—Where is it located and how should we extract it? *Annals of Anatomy*, vol. 194, 2012, pp. 7-12

CARRASCOSA-MOLINER, B.; ANGEL-PERIS, A.; FLORS-UREÑA, E. et ál. (2010)

La extracción de materiales arqueológicos in situ. Yacimientos de Torre la Sal y Costamar, Cabanes (Castellón). *Arché*, n.º 4 y 5, 2010, pp. 53-60

CERVERA-AÑÓN, J. M. (2012)

Paleodieta: un acercamiento al estudio de la alimentación en las poblaciones del pasado. *EstratCrític*, n.º 6, 2012, pp. 156-165

CHANDLER, J. G.; BRANDON, R. L.; FRIHART, C. R. (2005)

Examination of adhesive penetration in modified wood using fluorescence microscopy. En *ASC Spring 2005 Convention and Exposition: April 17-20, Columbus, OH*. [Bethesda, Md.: Adhesive and Sealant Council, 2005], 10 p.

CLUTTON-BROCK, J. (1992)

The process of domestication. *Mammal Review*, vol. 22, 1992, pp. 79-85

CRUZ-ORTEGA, M.ª; GRACIA, A.; CARRETERO, J. M. et ál. (2009)

Restauration d'un fémur fossile humain du site de la Sima de los Huesos (Atapuerca, Espagne). *L'anthropologie*, n.º 119, 2009, pp. 233-244

DAVIS, S. (1989)

La arqueología de los animales. Barcelona: Bellaterra, 1989

DE-MEIJER, M.; THURICH, K.; MILITZ, H. (2001)

Quantitative measurements of capillary coating penetration in relation to wood and coating properties. *Holz als Roh und Werkstoff*, n.º 59, 2001, pp. 35-45

DE-MUYNCK, W.; DE-BELIE, N.; VERSTRAETE, W. (2010)

Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review. *Ecological Engineering*, n.º 36, 2010, pp. 118-136

EDWARDS, J. C.; MACHUGH, D. E.; DOBNEY, K. M. et ál. (2004)

Ancient DNA analysis of 101 cattle remains: limits and prospects. *Journal of Archaeological Science*, n.º 31, 2004, pp. 695-710

EKLUND, J. A.; THOMAS, M. G. (2010)

Assessing the effects of conservation treatments on short sequences of DNA in vitro. *Journal of Archaeological Science*, 37 (11), 2010, pp. 2831-2841

GARCÍA-VIÑAS, E.; BERNÁLDEZ, E. (2013)

Paleobiología en Andalucía: una primera aproximación a los estudios arqueozoológicos realizados para la Prehistoria reciente. En JIMÉNEZ, J.; BUSTAMANTE, M.; GARCÍA-CABEZAS, M. (ed.) *Actas del VI Encuentro de Arqueología del SO peninsular. Villafranca de los Barros, 4-6 de octubre de 2012*. Villafranca de los Barros: Exmo. Ayuntamiento de Villafranca de los Barros, 2012, pp. 897-925

GARCÍA-VIÑAS, E.; OCAÑA, A.; GAMERO, M. et ál. (2014)

Diecinueve años de investigación sobre el patrimonio paleobiológico de la Prehistoria Reciente andaluza. *Revista ph*, n.º 86, 2014, pp. 88-100 <<http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/3505#.WFut6UdBGFY>> [Consulta: 22/12/2016]

GEA-GARCÍA, A.; WILLKE LOBATO, E.; HIDALGO GONZÁLEZ, A. et ál. (2003)

Restauración de restos paleontológicos: tortugas gigantes. *Pátina*, época II, n.º 12, 2003, pp. 17-22

GRATTAN, J.; HUXLEY, S.; KARAKI, L. A. et ál. (2002)

Death... more desirable than life? The human skeletal record and toxicological implications of ancient copper mining and smelting in WadiFaynan, southwestern Jordan. *Toxicology and Industrial Health*, n.º 18, 2002, pp. 297-307

GAVRILOVIC-GRMUSA, I.; MILJKÓVIC, I.; DIPOROVIC-MOMCILOVIC, M. et ál. (2008)

Penetration of urea-formaldehyde adhesives in wood tissue. Part I: Radial penetration of UF adhesives into beech. *Bulletin of the Faculty of Forestry*, n.º 98, 2008, pp. 39-48

GAVRILOVIC-GRMUSA, I.; MILJKÓVIC, I.; DIPOROVIC-MOMCILOVIC, M. et ál. (2009)

Penetration of urea-formaldehyde adhesives in wood tissue. Part II: Radial penetration of UF adhesives into Silver fir. *Bulletin of the Faculty of Forestry*, n.º 99, 2009, pp. 33-42

GÓMEZ-VILLALBA, L. S.; LÓPEZ ARCE, P.; FORT, R. et ál. (2011)

Aplicación de nanopartículas a la consolidación del patrimonio pétreo. En *La ciencia y el arte III: Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*. Madrid: Ministerio de Cultura, 2011, pp. 39-58

GOULD, S. J. (1997)

Ontogeny and phylogeny. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University, 1977

JIMÉNEZ-LOPEZ, C.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C.; PIÑAR, G. et ál. (2007)

Consolidation of degraded ornamental porous limestone by calcium carbonate precipitation induced by the microbiota inhabiting the stone. *Chemosphere*, n.º 68, 2007, pp. 1929-1936

JOHNSON, J. S. (1994)

Consolidation of Archaeological Bone: A Conservation Perspective. *Journal of Field Archaeology*, vol. 21, n.º 2, 1994, pp. 221-233

KLEIN, R. G.; CRUZ-URIBE, K. (1984)

The Analysis of Animals Bones from Archeological Sites. En BUTZER, K. W.; FREEMAN, L. G. (ed.) *Prehistoric Archeology and Ecology Series*. Chicago: University of Chicago Press, 1984

KOHN, M. J.; MCLEVER LAW, J. (2006)

Stable isotope chemistry of fossil bone as a new paleoclimate indicator. *Geochimica et Cosmochimica*, vol. 70, 2006, pp. 931-946

KUCEROVÁ, I. (2012)

Methods to measure the penetration of consolidant solutions into 'dry' wood. *Journal of Cultural Heritage*, n.º 13S, 2012, pp. s191-s195

KYLE, J. K. (1986)

Concentrations of Major and Minor Elements in Human Bones and Teeth-The Implications for Palaeodietary Research. *Journal of Archaeological Science*, n.º 13, 1986, pp. 403-416

LIRA, J.; LINDERHOLM, A.; OLARIA, C. et ál. (2009)

Ancient DNA reveals traces of Iberian Neolithic and Bronze Age lineages in modern Iberian Horses. *Molecular Ecology*, n.º 19 (1), 2009, pp. 64-78

LÓPEZ-POLÍN, L. (2012)

Possible interferences of some conservation treatments with subsequent studies on fossil bones: A conservator's overview. *Quaternary International*, n.º 275, 2012, pp. 120-127

LYMAN, R. L. (1989)

A critical evaluation of bone weathering as an indication of bone assemblage formation. *Journal of Archaeological Science*, n.º 16, 1989, pp. 293-317

MAC FADDEN, B. J. (1985)

Patterns of phylogeny and rates of evolution in fossil horses: Hipparions from de Miocene and Pliocene of North America. *Paleobiology*, n.º 11, 1985, pp. 245-257

MAC FADDEN, B. J.; CERLING, T. E. (1996)

Mammalian herbivore communities, ancient feeding ecology, and carbon isotopes: a 10 million-year sequence from the Neogene of Florida. *Journal of Vertebrate Palaeontology*, n.º 16, 1996, pp. 103-115

MARTÍNEZ-MORENO, J. (2005)

Las industrias en hueso "poco elaboradas" de Lezetxiki y Axlor. *Munibe*, vol. 57, 2005, pp. 83-92

MORENO-GARCÍA, M.; DAVIS, S. J. (2007)

Of metapodials, measurements and music-eight years of miscellaneous zooarchaeological discoveries at the IPA, Lisbon. *O Arqueólogo Português*, serie IV, n.º 25, 2007, pp. 9-165

- NATALI, I.; TEMPESTI, P.; CARRETTI, E. et ál.** (2014) Aragonite Crystals Grown on Bones by Reaction of CO₂ with Nanostructured Ca(OH)₂ in the Presence of Collagen. Implications in Archaeology and Paleontology. *Langmuir*, n.º 30, 2014, pp. 660-668
- PALMQVIST, P.; RODRÍGUEZ-GÓMEZ, G.; ESPIGARES, M. P. et ál.** (2016) Los yacimientos del pleistoceno inferior de la cuenca de Baza y el primer poblamiento humano de Europa (I): Disponibilidad de recursos e intensidad de la competencia entre los carnívoros. En MELÉNDEZ, G.; NÚÑEZ, A.; TOMÁS, M. *Actas de las XXXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2016, pp. 371-376 (Cuadernos del Museo Geominero n.º 20)
- RAUP, D. M.; SEPKOSKI, J. J.** (1984) Periodicity of extinctions in the geologic past. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS), vol. 81, 1984, pp. 801-805
- RENFREW, C; BAHN, P.** (1993) *Arqueología. Teorías, Métodos y Práctica*. Madrid: Akal, 1993
- RIQUELME-CANTAL, J. A.** (2011) Evolución de los estudios zooarqueológicos en Andalucía. Los últimos 25 años (1984-2010). En *La tutela del patrimonio prehistórico*. Sevilla: Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, 2011, pp. 139-146
- SASSONI, E.; NAIDU, S.; SCHERER, G. W.** (2011) The use of hydroxyapatite as a new inorganic consolidant for damaged carbonate stones. *Journal of Cultural Heritage*, n.º 12, 2011, pp. 346-355
- SERRULLA RECH, F.; GRANDAL D'ANGLADE, A.; VILAR LABARTA, S. et ál.** (2011) Aproximación facial y paleodieta en un esqueleto de la necrópolis de El Vergel (Ávila, España). *Munibe*, n.º 62, 2011, pp. 341-349
- SHIPMAN, P.** (1981) *Life History of a Fossil. An introduction to taphonomy and paleoecology*. Cambridge, Massachusetts, London: Harvard University Press, 1981
- VALDIOSERA, C. et ál.** (2011) El ADN antiguo aplicado a contextos arqueo paleontológicos: el caso de la cueva de Arlanpae (Lemoa, Bizkaia). *Munibe*, n.º 62, 2011, pp. 49-63
- VALKENBOURGH, B. VAN; ANIS, CH. M.** (1993) Historical diversity patterns in North American large herbivores and carnivores. En RICKLEFS, R. E.; SCHULTER, D. (ed.) *Species Diversity in Ecological Communities. Historical and Geographical perspectives*. Chicago: University of Chicago Press, 1993, pp. 230-340
- WANG, J.; ZHU, L.; WANG, Y. et ál.** (2015) Variability of the ¹⁴C reservoir effects in Lake Tangra Yumco, Central Tibet (China), determined from recent sedimentation rates and dating of plant fossils. *Quaternary International*, vol. 30, 2015, pp. 1-9
- XING, C.; RIELD, B.; CLOUTIER, A. et ál.** (2005) Characterization of urea-formaldehyde resin penetration into medium density fiberboard fibers. *Wood Science and Technology*, n.º 39, 2005, pp. 374-384
- ZOGLAMI, K.** (2003) *Las areniscas miocénicas de la formación Fortuna utilizadas en la construcción del acueducto romano de Zaghuan-Cartago. Caracterización petrofísica, alterabilidad y ensayos de control de idoneidad de tratamientos de restauración*. Tesis Doctoral. Dpto. de Geología, Unitat de Cristallografia i Mineralogia, Universitat Autònoma de Barcelona, 2003

