

Uso de escáner láser 3D en la reproducción de restos óseos: una evaluación desde la zooarqueología, paleontología y la conservación-restauración

Use of 3D laser scanner in the reconstruction of bones remains: assessment from zooarchaeology, paleontology and conservation-restoration

Recibido: 4 de octubre de 2012. Aceptado: 16 de mayo de 2013.

Patricio López Mendoza¹, Ismael Martínez Rivera², Osvaldo Latorre Astudillo³, Osvaldo Rojas Mondaca⁴, Paul Maluenda Bolados⁵

RESUMEN

Se presentan los resultados de reconstrucciones tridimensionales digitales realizadas mediante un sistema de escáner láser de triangulación, con el fin de discutir las ventajas y desventajas de esta herramienta en el análisis zooarqueológico, paleontológico y su potencial en la conservación-restauración digital de restos fósiles y otro tipo de materialidades. Para esta evaluación se confeccionó un soporte electromecánico que permitiese el paso continuo de un haz de láser sobre la superficie de los huesos escaneados, las que fueron capturadas mediante una cámara de video a un programa especializado en la lectura de imágenes 3D. Se utilizaron colecciones de referencia actuales así como muestras fósiles, a partir de las cuales se obtuvo una serie de imágenes que permitieron desarrollar los modelados 3D. Dentro de las ventajas de esta herramienta se encuentra la posibilidad de trabajar con especímenes con escasa manipulación directa; mientras que dentro de las desventajas hay que señalar el grado de detalle requerido para las fases de identificación taxonómica, tanto en zooarqueología como paleontología.

Palabras clave: escáner láser, modelados 3D, zooarqueología, paleontología, conservación-restauración digital.

ABSTRACT

Digital 3D reconstructions made by using laser scanner triangulation are presented. The aim is to discuss the advantages and disadvantages of this tool in zooarchaeological and paleontological analysis, and its potential for digital conservation-restoration of fossil remains, and other types of materiality. To that end, there was developed an electromechanical support that allowed the 3D laser to work in a continuous form on the surface of the scanned bones. The process

1 Arqueólogo independiente, Máster en Antropología. Santiago, Chile. Correo electrónico: patriciolopezmend@yahoo.es

2 Licenciado en arqueología, conservador-restaurador independiente. Santiago, Chile. Correo electrónico: ismart68@gmail.com

3 Ingeniero independiente. Santiago, Chile. Correo electrónico: olatorre@vtr.net

4 Museo de Historia Natural y Cultural del Desierto de Atacama. Calama, Chile. Correo electrónico: museocalama@vtr.net

5 Área de Paleontología, Museo de Historia Natural y Cultural del Desierto de Atacama. Calama, Chile. Correo electrónico: pmaluend@hotmail.com

was captured with a video camera into a specialized software that reads 3D data. A series of images was obtained from current reference collections and fossil samples, allowing to develop the 3D models. Among the advantages of 3D laser scanning is the possibility to work with specimens with low direct manipulation; nevertheless among the disadvantage it should be pointed out the degree of detail that taxonomic identification phases require in zooarchaeology and in paleontology.

Keywords: laser scanner, three dimensional imaging, information modeling, zooarchaeology, paleontology, digital conservation-restoration.

INTRODUCCIÓN

El uso de escáneres 3D para generar réplicas digitales ha sido un aporte relevante para el análisis, conservación y restauración de diversas evidencias arqueológicas, las que van desde pequeños a grandes asentamientos (Dawson y Levy, 2005; Morgan, 2009), arte rupestre (Barnett et al., 2005), artefactos líticos (Grosman et al., 2008), cerámica (Karasik y Smilansky, 2008), objetos metálicos (Tejado, 2005) y evidencias óseas tanto faunísticas como bioantropológicas (Niven et al., 2009; Tocheri, 2009).

En el caso de las evidencias óseas, este tipo de herramientas ha sido de gran utilidad para la elaboración de muestras de referencia, análisis morfométricos, reconstrucción de especímenes y reproducciones con fines museográficos (Friess et al., 2000; Lyons et al., 2000; Motani, 2005; Niven et al., 2009). En el caso de la zooarqueología, proyectos como el Virtual Zooarchaeology of the Arctic de la Idaho State University, la colección del Max Planck Institute, el proyecto Aves 3D del College of the Holy Cross o Digimorph de la University of Texas at Austin, son buenos ejemplos de la reconstrucción y reproducción de huesos a partir de imágenes 3D para el uso científico. En Chile este tipo de herramientas ha sido poco explorada pese a los avances en la incorporación de nuevas tecnologías, tanto en el análisis como en la preservación de estos bienes patrimoniales.

El presente trabajo aborda el uso de un sistema de escáner láser utilizado en la elaboración de imágenes tridimensionales de una colección de referencia zooarqueológica de perro (*Canis lupus familiaris*, 1 individuo), así como de cuatro restos fósiles recobrados de depósitos del Pleistoceno final. Su objetivo central es evaluar su utilidad en el análisis zooarqueológico y paleontológico, sobre todo en las fases de identificación y cuantificación, además de ponderar sus proyecciones en la reproducción y en la conservación-restauración digital de restos fósiles y otras materialidades abordadas por la paleontología, y particularmente por la arqueología.

REPRODUCCIONES DIGITALES TRIDIMENSIONALES: TIPOS DE ESCÁNERES

La digitalización tridimensional puede llevarse a cabo mediante técnicas de contacto y sin contacto. En el caso de las técnicas de contacto, estas escanean la superficie de los objetos mediante el contacto físico de un elemento de medida, logrando una gran precisión, aunque presentan la desventaja de un proceso lento de captura así como el potencial daño producido en la superficie de los objetos, por el inevitable contacto con el escáner. Dentro de los escáneres de contacto se encuentra el Sistema de Posicionamiento Tridimensional (*Coordinate Machine Measurement*), usado principalmente para fines industriales, y que consta de una sonda que obtiene mediciones relacionadas con la posición tridimensional de diversos puntos de los objetos escaneados, procesando las coordenadas mediante un *software* diseñado para tal propósito (Nadav, 1999).

En relación con las técnicas sin contacto, estas se caracterizan por emitir señales (p. ej. luz o sonido) que barren la superficie del objeto, separándose entre escáneres activos y pasivos (Narváez, 2010; Vicedo y Linares, 2010). Las técnicas sin contacto activo emiten señales como radiaciones electromagnéticas o ultrasonidos que analizan el entorno, capturando así un objeto o lugar. Los escáneres pasivos no emiten radiación, aunque sí buscan detectar potenciales radiaciones ambientales como la luz visible o bien el infrarrojo (Narváez, 2010; Vicedo y Linares, 2010). Dentro de las técnicas sin contacto activo se encuentra el escáner láser de triangulación 3D, el escáner 3D de tiempo de vuelo (*time offlight*), el de diferencia de fase, los escáneres de luz estructurada y el de holografía conoscópica. En cuanto a los que utilizan técnicas sin contacto pasivo se pueden mencionar los estereoscópicos y los que modelan por medio de imágenes y siluetas (Schreiner et al., 2008; Eleázar et al., 2007).

El escáner utilizado en el presente trabajo corresponde a uno sin contacto activo que opera mediante un láser y triangulación, el que funciona en un ambiente controlado mediante fondos dispuestos para calibrar la cámara de video y los objetos a escanear. Posterior a esta calibración se recorre el objeto mediante un láser para así obtener una de las caras que formarán la reproducción tridimensional del objeto (Narváez, 2010).

METODOLOGÍA

Escáner: confección y uso

Cinco elementos constituyen la base del escáner láser utilizado: i. una cámara *web* que funciona como receptora de la imagen del objeto a reproducir; ii. una línea láser, cuyos datos técnicos se indican más adelante; iii. un fondo calibrado con puntos equidistantes que permite al programa identificar un plano fijo para la captura de la

imagen y, a su vez, controlar el barrido del láser; iv. un computador con un programa adecuado para el procesamiento de imágenes, que en este caso fue el programa David Laserscanner 3.3 (licencia adquirida); y v. objetos a escanear, los que en el presente trabajo fueron los restos óseos que se detallan en la Tabla 1.

El láser utilizado corresponde a un haz lineal de color rojo de foco ajustable de 650 nm y 16 mW, dispuesto sobre un motor paso a paso (P-P) cuya velocidad fue controlada mediante un microcontrolador Basic Stamp SX, en conjunto con un chip ULN2803A para el barrido controlado del láser. El fondo graduado fue elaborado con 25 puntos equidistantes sobre dos paneles dispuestos en ángulo recto sobre una plataforma llana, lo que permite obtener los tres ejes necesarios para una imagen tridimensional. A una distancia de 65 cm se posicionó una cámara *web* (Microsoft Webcam HD-3000), con un formato de captura de 800 x 600 píxeles, el que es variable de acuerdo con los requerimientos definidos para cada caso. En el presente proyecto se trabajó con muestras cuya longitud total no fue superior a los 30 cm, por lo que el formato de captura utilizado se ajustó al tamaño de los objetos y al nivel de detalle requerido. La cámara fue enfocada en ángulo colineal hacia el objeto escaneado, el que a su vez se dispuso sobre una plataforma rotatoria y graduada para mover el objeto y escanear así todas las vistas que se consideren necesarias (Figura 1A y 1B).

Por su parte, el láser fue situado a 100 cm del objeto y a una elevación de 150 cm, con un ángulo mínimo de 30°, en relación con la pieza escaneada. Los objetos fueron posicionados sobre la base y rotados cada 15° para capturar un total de 24 imágenes, que fueron alineadas y fusionadas para formar la reproducción tridimensional de los huesos (Figura 2). Para tales efectos se utilizó un mallado geométrico que fue operado por el programa, el que posteriormente fusionó cada imagen a partir de superficies microtopográficas similares.

Tabla 1: Muestras escaneadas en el presente trabajo indicando su clasificación taxonómica, procedencia y referencias bibliográficas

Espécimen óseo	Taxa	Procedencia	Tipo de colección	Referencia bibliográfica
Cráneo	<i>Canis lupus familiaris</i>	Indeterminada	Referencia	Sin referencia
Cráneo	cf. <i>Lama gracilis</i>	Kamac Mayu (II Región, Chile)	Paleontológica	Cartajena et al., 2010
Sacro	cf. <i>Lama gracilis</i>	Kamac Mayu (II Región, Chile)	Paleontológica	Cartajena et al., 2010
Mandíbula	<i>Megatherium medinae</i>	Jalquincha 1 (II Región, Chile)	Paleontológica	López et al., 2010
Calcáneo	<i>Hippidion saldiasi</i>	Betecsa 1 (II Región, Chile)	Paleontológica	Alberdi et al., 2007

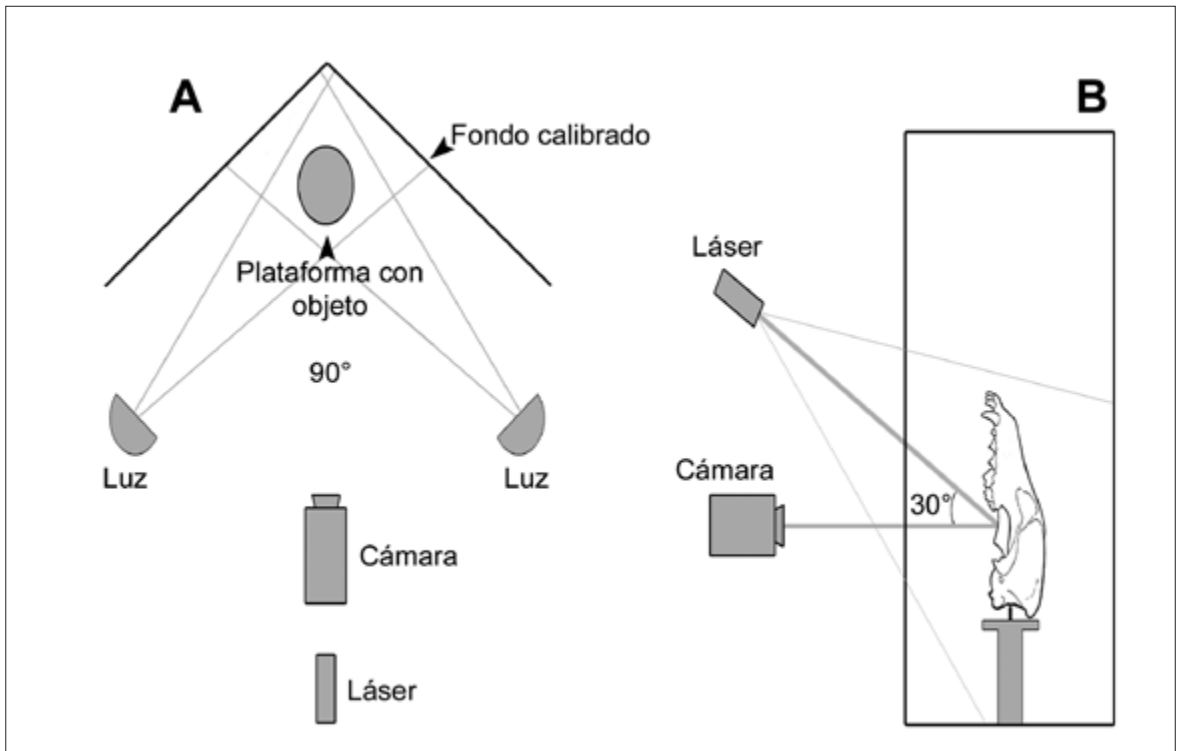


Figura 1. Esquema del sistema de escáner láser por triangulación. (A) vista superior indicando la ubicación de los elementos utilizados para la obtención de imágenes. (B) vista lateral indicando el ángulo de la cámara y del láser previo al barrido realizado por este (Dibujo: P. López, 2013).

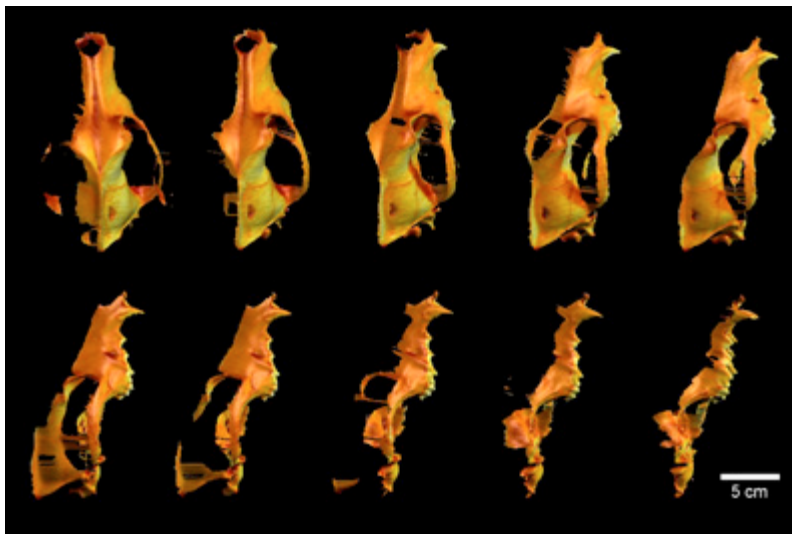


Figura 2. Capturas realizadas mediante el escáner láser de cráneo de *Canis lupus familiaris* (perro), previas a su fusión (Fotografías: P. López, 2013).

El número de imágenes a capturar depende tanto de la calidad de reproducción que se busca obtener así como de la complejidad morfológica del objeto. En el caso de los restos osteofaunísticos, elementos como el cráneo poseen una mayor complejidad, sobre todo en la lectura de rasgos como el arco cigomático, ya que la captura del haz de láser genera “ruidos” sobre los elementos en planos superpuestos. Estos “ruidos” corresponden a distorsiones digitales que se manifiestan en pequeños bordes ampliados en relación con el objeto original, así como a líneas en espacios

vacíos que son necesarias de corregir mediante edición de imagen, para optimizar el resultado final.

Cada pieza fue fotografiada con la cámara *web* previa a su escaneo, con el fin de superponer sus rasgos naturales sobre la reproducción digital. Todas las imágenes se obtuvieron en formato OBJ (*Wavefront*), que permite ser usado en otros programas de edición 3D.

RESULTADOS

En la Figura 3A se observa el cráneo original de *Canis lupus familiaris* (perro) escaneado y en la Figura 3B la reproducción digital tridimensional lograda mediante el sistema de escáner láser. Como se mencionó anteriormente, el cráneo es un elemento complejo de reproducir debido a su morfología, requiriendo algunas imágenes una edición previa a la fusión, ya que la reproducción digital presenta una serie de “ruidos” que no son parte del objeto real. Estos “ruidos” corresponden a pequeños bordes ampliados en relación con el objeto original, así como a líneas en espacios originalmente vacíos que son necesarias de corregir para optimizar el resultado final.

Uno de los principales problemas durante el procedimiento de escaneo corresponde al ángulo de intersección del láser con el objeto, el que mediante múltiples fases de prueba se determinó que debe ser de 30° en objetos como el cráneo de perro y los restos fósiles utilizados para la presente prueba, teniendo como variable común el tamaño y forma de los huesos. Otro factor relevante corresponde a la iluminación empleada para el fotografiado de cada escaneo, la que debe permitir la captura de detalles mínimos en el objeto, para ello se requiere controlar la intensidad de la luz y la dirección de la misma, con el fin de demarcar los rasgos anatómicos de los huesos. Una tercera complicación corresponde a la alineación y fusión de las diversas imágenes tomadas, ya que se requiere de imágenes consecutivas que no superen los 15° durante su movimiento en la plataforma graduada, ya que el enlace posterior reconoce microtopografías mediante una malla de puntos que es rellenada por el programa (Figuras 4A y 4B). Por tanto, es necesario tener en consideración los siguientes aspectos: una rotación graduada y controlada del objeto escaneado, luz direccionada y de intensidad controlada, y una plataforma que mantenga al objeto firme y con nula vibración.

En el caso del cráneo de perro, detalles como las cúspides de los molares son complejas de detallar, aunque esta situación depende en gran medida del formato de captura. Durante este trabajo se utilizó un formato de 800 x 600 píxeles, por lo que es esperable un mayor detalle con un mejor *hardware*, como se ha identificado en trabajos similares (Dardon et al., 2010). En estructuras óseas más complejas,

como las que están presentes en las fosas nasales, la reproducción es dificultosa y requiere de escaneos dirigidos que se enfoquen, exclusivamente, a esas zonas y no a la totalidad del objeto.

Una segunda colección escaneada corresponde a restos fósiles depositados en el Museo de Historia Natural y Cultural del Desierto de Atacama (Calama, Chile) y a otros en proceso de recepción final, asignados a *Hippidion saldiasi* (Perissodactyla), *Megatherium medinae* (Pilosa) y *Lama gracilis* (Artiodactyla). Todos estos taxa provienen de diversos sitios del Pleistoceno final de la cuenca de Calama. La confección de reproducciones tridimensionales de estos taxa se enfocó a replicar huesos cuyas texturas fuesen diversas, ya que fósiles como los de *Megatherium* sp. presentan una superficie más rugosa, a diferencia de los restos de *Hippidion saldiasi* y de *Lama gracilis* que tienden a ser más lisas. En las Figuras 5A, 5B, 5C y 5D se detallan los resultados de la reproducción de estos fósiles, donde se observa que los rasgos morfológicos más marcados son distinguibles, lo que permite al menos un buen uso de estas reproducciones durante la etapa de identificación. No obstante, en el caso del trabajo desarrollado en este proyecto, la calidad de las reproducciones fue menor para huesos de menor tamaño y con superficies lisas. Esta situación se debe principalmente al formato de captura de la cámara utilizada, que debe adecuarse a piezas de menor envergadura y contornos más simples.

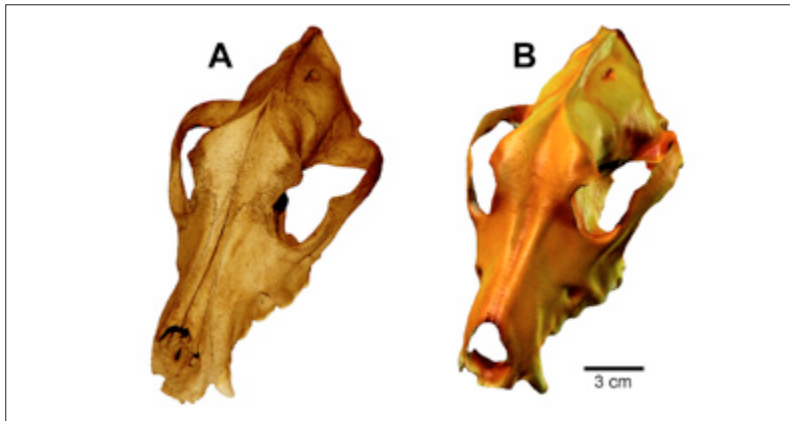


Figura 3. (A) Cráneo real de *Canis lupus familiaris* utilizado en este trabajo. (B) reconstrucción digital tridimensional del mismo cráneo (Fotografías: P. López, 2013).

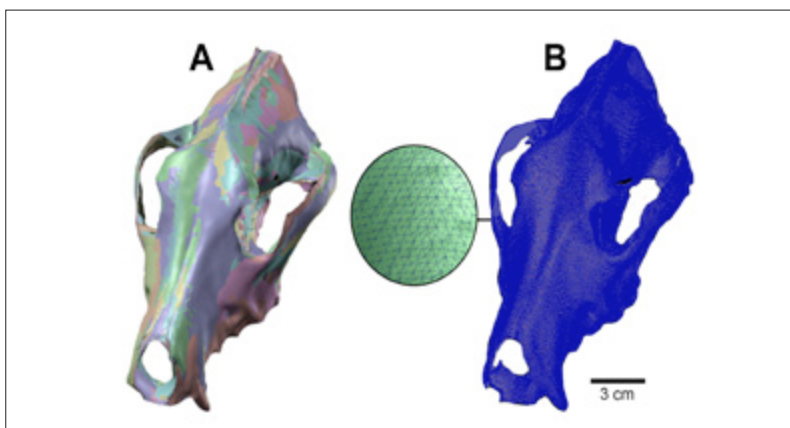
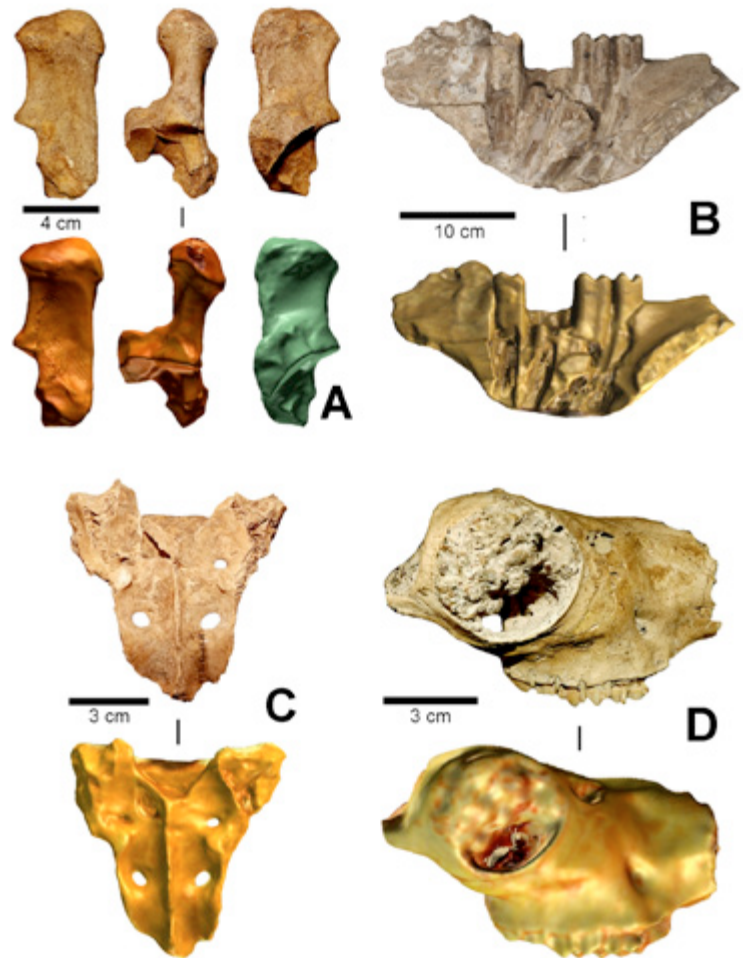


Figura 4. (A) Cráneo de *Canis lupus familiaris* detallando las imágenes escaneadas que fueron alineadas y fusionadas (distintos colores). (B) mismo cráneo, detallando la malla de puntos (microtopografía) obtenida mediante el escaneo (Fotografías: P. López, 2013).

Figura 5. Fósiles reales (superior) comparados con réplicas tridimensionales (abajo). (A) vistas lateral, posterior y medial de calcáneo de *Hippidion saldiasi*. (B) vista lingual de mandíbula de *Megatherium medinae*. (C) vista posterior de sacro de *Lama gracilis*. (D) vista lateral de fragmento de cráneo de *Lama gracilis* (Fotografías: P. López, 2013). Información de los fósiles en Alberdi et al. (2007), Cartajena et al. (2010), López et al. (2010).



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para abordar la discusión de los resultados obtenidos en esta primera aproximación al uso del escáner láser para la reproducción tridimensional de huesos, se abordará en primer lugar el potencial que esta herramienta tiene para el estudio zooarqueológico y paleontológico, para posteriormente discutir su utilidad en el campo de la conservación-restauración.

En el caso de la zooarqueología y paleontología, el uso de estas reproducciones permite almacenar una enorme cantidad de colecciones sin la necesidad de un gran espacio físico. Esta situación no es menor, por cuanto no todas las instituciones cuentan con colecciones que cubran las necesidades mínimas durante las fases de identificación anatómica y taxonómica de este tipo de muestras. Esta posibilidad de generar muestras de referencias digitales también se aplica al proceso de enseñanza, ya que facilita el trabajo de laboratorio, evitando así la manipulación directa y excesiva de las muestras. Por otra parte, los costos en la elaboración del presente proyecto

fueron relativamente bajos (US\$ 650), considerando todo el equipamiento utilizado, y sus requerimientos de espacio son mínimos, por lo que su implementación no está fuera de los presupuestos institucionales e incluso para investigadores privados.

No obstante, esta posibilidad de utilizar una gran cantidad de huesos de referencia en formato digital 3D tiene a su vez un problema no menor durante el análisis zooarqueológico y paleontológico, el que tiene que ver con el potencial del tacto durante la fase de identificación. Esta singularidad ha sido escasamente discutida en la bibliografía pertinente, pero la experiencia indica que es un factor que se involucra de modo directo durante la identificación. Por esto, el uso de estas reproducciones puede ser de utilidad en fases previas a la de una identificación certera, o bien, para piezas como holotipos que por su estado de conservación impiden ser manipuladas de forma intensiva. Incluso si se reproducen las imágenes digitales en impresoras para objetos tridimensionales detalles como zonas de inserciones musculares o rasgos anatómicos en huesos de pequeño tamaño no son visualizados de modo óptimo, a diferencia de las réplicas obtenidas mediante moldes elaborados directamente a partir de la muestra fósil.

Desde el punto de vista técnico, el escáner láser utilizado en el presente trabajo no reproduce con exactitud el original, ya que durante la alineación y fusión de las imágenes se produce una leve deformación, aspecto que puede ser solucionado en parte por otros sistemas de escaneos y programas de edición (Dardon et al., 2010).

Un aspecto a desarrollar a futuro, sobre todo en zooarqueología, tiene relación con la posibilidad de realizar análisis cuantitativos de restos óseos. El uso de unidades de cuantificación en esta disciplina está relativamente estandarizado y son relevantes en los cálculos referentes a la abundancia de unidades anatómicas como también a la cantidad de animales presentes en los sitios. Este es el caso de las unidades NISP (número de especímenes óseos identificados por taxón) y MNE (número mínimo de elementos), en donde el segundo es calculado por la cantidad de fragmentos (NISP) de un mismo elemento óseo (p. ej. fémur, cráneo, falange, etc.), lo que se dificulta en conjuntos con un NISP abundante y muy fragmentado. Recientes aplicaciones del Sistema de Información Geográfica (SIG) efectuadas por Marean et al. (2001) han facilitado este cálculo, el que a partir de metodologías que se apoyen en reproducciones tridimensionales pueden mejorar aún más, debido a la posibilidad de posicionar y diferenciar fragmentos en función de su microtopografía y curvatura. A esta posibilidad se une el posicionamiento en la superficie de las reproducciones de marcas de procesamiento, bordes de fracturas, o bien daños producidos por carnívoros (p. ej. punturas). En pruebas preliminares para el análisis de MNE se obtuvieron buenos resultados, aunque con una muestra muy pequeña y con fracturas controladas por experimentación (P. López, observación personal); mientras que para muestras medianas a grandes los costos en tiempo no favorecen el uso de esta metodología.

Por otra parte, las ventajas que tiene para la conservación-restauración el uso de este tipo de herramientas han sido abordadas y discutidas para distintas evidencias por Schreiner et al. (2008). No obstante, en este caso en particular, es necesario recalcar la posibilidad que otorga esta técnica para reproducir especímenes óseos frágiles, cuya constante manipulación es dificultosa. A esto se suma la posibilidad de remontar restos de una misma pieza sin necesidad de intervenirlas directamente. Un uso potencial que debe evaluarse a futuro es la factibilidad de efectuar diagnósticos en restos fósiles afectados por sedimentos para su posterior eliminación, identificando la anatomía original de los huesos y direccionar así su remoción. Por último, la utilización de este tipo de reproducciones para fines museológicos, principalmente en páginas *web* de instituciones pertinentes al resguardo y divulgación patrimonial, permite una rápida circulación de datos y en algunos casos facilita la revisión de colecciones para fines comparativos.

Por todo lo señalado anteriormente, consideramos que el uso de estas herramientas debe fomentarse tanto para la enseñanza, investigación, conservación y restauración de distintos registros de valor patrimonial. Si bien el énfasis de este trabajo está en los restos óseos de faunas de sitios arqueológicos y paleontológicos, existe un enorme potencial para otro tipo de materialidades, dependiendo de las preguntas y objetivos de cada investigación.

Agradecimientos: Nuestros agradecimientos a todos los evaluadores de revista *Conserva* que permitieron mejorar una primera versión de este trabajo. El presente proyecto fue financiado por el Fondo Nacional para el Desarrollo Cultural y las Artes (FONDART), concurso regional, línea Conservación y Difusión del Patrimonio Cultural, proyecto: “Nuevas formas de preservar: uso de escáner 3D en la colección paleontológica del MUHNCAL, Calama” (N° 893).

REFERENCIAS CITADAS

ALBERDI, M. T.; PRADO, J. L.; LÓPEZ, P.; LABARCA, R. y MARTÍNEZ, I. 2007. *Hippidion saldiasi* Roth, 1899 (Mammalia, Perissodactyla) en el Pleistoceno tardío de Calama, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80: 157-171.

BARNETT, I.; CHALMERS, A.; DÍAZ-ANDREU, M.; ELLIS, G.; LONGHURST, P.; SHARPE, K. y TRINKS, I. 2005. 3D laser scanning for recording and monitoring rock art erosion. *International Newsletter on Rockart*, 41: 25-29.

CARTAJENA, I.; LÓPEZ, P. y MARTÍNEZ, I. 2010. New camelid (Artiodactyla: Camelidae) record from the Late Pleistocene of Calama (Second Region, Chile): a morphological and morphometric discussion. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27(2): 197-212.

- DARDON, U.; SIQUIERA DE SOUZA, R.; TEREZINHA, C.; ABRANCHES, S. y PAGLARELLI, L. 2010. Modelagem 3D e suas aplicações na pesquisa paleontológica. *Gaea*, 6(2): 76-89.
- DAWSON, P. y LEVY, R. 2005. A three-dimensional model of a Thule Inuit whale bone house. *Journal of Field Archaeology*, 30: 443-455.
- ELEÁZAR, A.; PRIETO, F. y BOULANGER, P. 2007. Inspección de piezas 3D: Revisión de la literatura. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3): 118-126.
- FRIESS, M.; MARCUS, L.; REDDY, D. y DELSON, E. 2002. The use of 3D laser scanning techniques for the morphometric analysis of human facial shape variation. En B. Mafart y H. Delingette (eds.), *Three-Dimensional Imaging in Paleoanthropology and Prehistoric Archaeology*, pp. 31-35. Oxford, Inglaterra: IBar International Series 1049, Archaeopress.
- GROSMAN, L.; SMIKT, O. y SMILANSKY, U. 2008. On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts. *Journal of Archaeological Science*, 35: 3101-3110.
- KARASIK, A. y SMILANSKY, U. 2008. 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory. *Journal of Archaeological Science*, 35: 1148-1168.
- LÓPEZ, P.; ROJAS, O.; MANSILLA, P.; OLIVARES, L. y MARTÍNEZ, I. 2010. Mamíferos extintos del Pleistoceno de la cuenca de Calama (Segunda Región, Chile). Viejas colecciones y nuevos hallazgos. *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 17: 1-15.
- LYONS, P.; RIOUX, M. y PATTERSON, R. 2000. Application of a three-dimensional color laser scanner to paleontology: an interactive model of a juvenile *Tylosaurus* sp. basisphenoid-basioccipital. *Palaeontologia Electronica*, 3(2): 16 p. Recuperado de: http://palaeo-electronica.org/2000_2/neural/issue2_00.htm [05 julio 2012].
- MAREAN, C.; ABE, Y.; NILSSEN, P. y STONE, E. 2001. Estimating the Minimum Number of Skeletal Elements (MNE) in Zooarchaeology: a Review and a New Image-analysis GIS Approach. *American Antiquity*, 66: 333-348.
- MORGAN, C. 2009. (Re)Building Çatalhöyük: changing virtual reality in archaeology. *Archaeologies: Journal of the World Archaeological Congress*, 5(3): 468-487.
- MOTANI, R. 2005. Detailed tooth morphology in a durophagus ichthyosaur captured by 3D laser scanner. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 25: 462-465.
- NADAV, S. 1999. *Dimensional inspection planning for coordinate measuring machines*. Tesis para optar al grado de Doctor of Philosophy (Computer Science), Faculty of the Graduate School, University of Southern California, California, EEUU. 126 p.
- NARVÁEZ, A. 2010. *Escáner 3D de bajo costo empleando webcams*. Tesis para optar al grado de Licenciada en Computación, Facultad de Ciencias, Escuela de Computación, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 117 p.
- NIVEN, L.; STEELE, T.; FINKE, H.; GERNAT, T. y HUBLIN, J.J. 2009. Virtual skeletons: using a structured light scanner to create a 3D faunal comparative collection. *Journal of Archaeological Science*, 36: 2018-2023.

SCHREINER, M.; STRLIČ, M. y SALIMBENI, R. (eds.). 2008. *Handbook on the Use of Lasers in Conservation and Conservation Science*. Bruselas, Bélgica: COST G7, European Science Foundation. Recuperado de: <http://www.science4heritage.org/COSTG7/booklet/> [05 julio 2012].

TEJADO, J. 2005. Escaneado en 3D y prototipo de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico. *Iberia*, 8: 135-158.

TOCHERI, M. 2009. Laser Scanning: 3D Analysis of Biological Surfaces. En Ch. Sensen y B. Hallgrímsson (eds.), *Advanced Imaging in Biology and Medicine, Technology, Software Environments, Applications*, pp. 85-10. Berlín, Alemania: Springer.

VICEDO, J. y LINARES, J. 2010. *Escaneado de objetos tridimensionales en el ITI*. 4 p. Recuperado de: <http://www.iti.es/media/about/docs/tic/14/articulo1.pdf> [05 junio 2012].