

**RUMBOS ATREVIDOS, PERO NECESARIOS:
CONVERSACIONES ENTRE INNOVACIÓN,
ARTE Y CREATIVIDAD**

Rafael L. Cabrera Collazo (ed.)

Originalmente publicado en 2020 en Madrid, España,
por GKA Ediciones como parte de la colección Diálogos
Intelectuales del Siglo XXI.

2020, los autores
2020, Rafael Cabrera (ed.)
2020, GKA Ediciones



Reconocimiento – NoComercial – SinObraDerivada:
No se permite un uso comercial de la obra original ni la
generación de obras derivadas.

*Rumbos atrevidos, pero necesarios: conversaciones entre
innovación, arte y creatividad / por Rafael Cabrera (ed.)*

ISBN: 978-84-15665-56-4

Las opiniones expresadas en cualquiera de los artículos publicados en este libro son la opinión de los autores individuales y no los de Global Knowledge Academics, ni de los editores. Por consiguiente, ni Global Knowledge Academics ni los editores se hacen responsables y se eximen de toda responsabilidad en relación con los comentarios y opiniones expresados en cualquiera de los artículos de este libro.

Este libro ha sido financiado por Global Knowledge
Academics - www.gkacademics.com

Posibles aplicaciones de la digitalización 3D en la conservación y restauración de colecciones científicas: modelos anatómicos de cera

Óscar Hernández-Muñoz; Alicia Sánchez Ortiz; Emanuel Sterp
Universidad Complutense de Madrid, España

Palabras clave: fotogrametría; virtualización; ceroplástica; conservación-restauración

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías de digitalización 3D permiten hoy en día obtener copias virtuales con alta precisión de objetos tridimensionales, que pueden ser utilizadas para diferentes fines dentro del campo de la conservación del patrimonio artístico y científico (McCarthy, 2014) which in many areas accounts for the majority of archaeological work (up to 80% in Scotland for example. Una importante aportación de estas herramientas digitales dentro de los museos universitarios ha tenido lugar en el ámbito divulgativo (Nancarrow, 2016). En los últimos años, numerosos museos e instituciones públicas han tratado de encontrar estrategias que les permitan hacer más accesibles sus fondos, tanto a los investigadores como al público en general, sin comprometer la seguridad de los objetos que en ellos se exhiben. Con este fin, se han creado, por ejemplo, réplicas de algunas piezas de gran valor histórico para que puedan ser manipuladas por los visitantes, sin riesgo para el original. No obstante, ésta es una estrategia limitada en sus posibilidades debido a la necesidad que tiene el usuario de acudir físicamente al museo, así como por las restricciones de espacio habituales en este tipo de instituciones. Además, este procedimiento resulta excesivamente caro, motivo por el cual su uso no ha podido ser generalizado. Sin embargo, las nuevas tecnologías de digitalización y virtualización 3D hacen posible, con un reducido coste, el acceso a una copia virtual exacta de la pieza (Garstki, 2017), ofreciendo una información completa y precisa de su conjunto, sin conllevar ningún riesgo para el original y facilitando, además, la toma de medidas morfométricas.

Por otra parte, la obtención de réplicas virtuales en tres dimensiones de objetos pertenecientes a colecciones científicas está abriendo paso a nuevas posibilidades en el campo de la conservación y restauración de museos que cuentan entre sus fondos con este tipo de patrimonio (Pierdicca, Frontoni, Malinverni, Colosi, & Orazi, 2016). Una de las principales ventajas es que estos modelos 3D aportan una información gráfica exacta del estado en que se encontraba aquél antes, durante y después de la intervención, lo que supone una enorme ayuda dentro del Modelo de Toma de Decisiones en proyectos de restauración. Además, esta copia virtual puede editarse mediante programas de diseño asistido por computadora para reconstruir de forma

virtual las zonas dañadas y así poder planificar mejor la estrategia a seguir durante la intervención física sobre el objeto original. Finalmente, otra ventaja destacable de la incorporación de las herramientas informáticas es la posibilidad de imprimir físicamente el modelo 3D obtenido mediante digitalización de la obra original.

En este estudio se presentan dos casos prácticos de aplicación de este tipo de tecnologías en la conservación, restauración y difusión de objetos pertenecientes a la colección de modelos anatómicos en cera del Museo Veterinario Complutense, cuyo origen se encuentra en la Real Escuela Veterinaria de Madrid, fundada por orden de Carlos IV, el 23 de febrero de 1792, con el objetivo de contribuir a mejorar este tipo de enseñanza en España. Las piezas que la conforman constituyen un extraordinario testimonio de la evolución de los saberes científicos y abarcan campos diversos como la anatomía, la fisiología, las lesiones patológicas, la edad de los animales, etc. Desde sus inicios, la Escuela contó con un Gabinete y un Laboratorio de piezas, alcanzando su máximo esplendor en el primer tercio del siglo XIX con la incorporación de Cristóbal Garrigó de Nis en calidad de escultor anatómico.

Cada una de las esculturas era fruto de la interacción e intercambio de conocimientos y habilidades entre los anatomistas **más relevantes de la época** y los artistas mejor cualificados en el uso de la cera. En el caso de la colección madrileña, los modelos presentan una diversidad tipológica en cuanto a la selección de los materiales (cera de abejas, resinas naturales, grasas animales, pigmentos y colorantes, yeso, metal, hueso) y a las técnicas de manufactura (modelado directo, vaciado con moldes, teñido de las pastas, veladuras pinceladas sobre la superficie **cérea, bulto redondo macizo o hueco con armazón metálico o estructura ósea,...**) Todas ellas son, en sí mismas, una fuente primaria esencial para profundizar e investigar sobre **múltiples aspectos de la cultura material y visual de la ciencia, así como para comprender los modos de enseñanza de la disciplina** durante un tiempo en el que no existían los grandes avances tecnológicos de nuestra sociedad actual (Ludwing & Weber, 2013; Shteir, A.B. , Lighthman, 2007; Zarzoso, 2016) .

Hay que recordar que durante los siglos XVIII y XIX, el modelo de Universidad estuvo centrado en la investigación y fue entonces cuando las colecciones científicas alcanzaron un extraordinario impulso gracias a su inclusión como instrumentos fundamentales para la formación de los futuros veterinarios. En este sentido, los modelos tridimensionales en cera fueron concebidos con una finalidad didáctica para servir como apoyo en las demostraciones docentes a modo de sustitutos de los cadáveres; de ahí la importancia otorgada al material con el que debían ser fabricados. La cera proporcionaba un medio de trabajo que gozaba de gran versatilidad y que se prestaba para registrar texturas de todo tipo. Destaca su plasticidad que la hace capaz de transformar su resistencia material durante el proceso de modelaje según las necesidades del escultor en cada momento. En su estado líquido podía ser manipulada con facilidad y registrar las propiedades físicas de la superficie de los objetos. Su blandura permitía adjuntar objetos externos a la escultura. Además, puede ser imprimida o estampada por contacto físico. Al enfriarse, la cera conserva los detalles registrados. Esta plasticidad la convierte en un soporte dúctil que facilita la creación de texturas reales de una forma fácil y efectiva. Además, las piezas podían ser manipuladas y en algunos casos desmontadas por los estudiantes durante las

clases. Uno de los modelos más empleados en los estudios de anatomía comparada fue la figura del caballo, probablemente priorizada por el papel indispensable que tuvo para la sociedad. Esto explica la amplia representación que éste tiene dentro de la colección veterinaria Complutense.

Con el transcurrir de los años, este tipo de artefactos fueron perdiendo su propósito original y alejados de su contexto dejaron de ser valorados por los investigadores, docentes e instituciones, que los consideraron un estorbo al representar etapas ya superadas y los arrinconaron en el mejor de los casos a espacios poco acondicionados para garantizar su pervivencia material (Alfageme & Torres, 2006). Pero incluso habiendo perdido su papel didáctico original y relegados al olvido en vitrinas, almacenes o depósitos, los modelos tridimensionales en cera han conservado su valor y poco a poco se han ido transformando en objeto de estudio para los historiadores de la ciencia al apreciar en ellos una extraordinaria fuente de información (González Bueno, 2003).

METODOLOGÍA

En la primera parte del estudio se puso a prueba la utilidad de la digitalización 3D mediante fotogrametría como herramienta de registro y comprobación de resultados durante el proceso de reconstrucción volumétrica de un modelo anatómico de cera. Asimismo, se analizaron las ventajas de este procedimiento de reproducción del original para la planificación de la intervención sobre la pieza original, en comparación con los métodos tradicionales de copia mediante moldes. Con esa finalidad, se procedió a seleccionar la figura sobre la que se iba a intervenir, considerando como criterios principales el riesgo de deterioro de la pieza debido a los daños que presentaba, así como el valor artístico e histórico de ésta. En un primer lugar, se identificaron los modelos que sufrían algún tipo de alteración, descartando inicialmente aquellos que sólo necesitaban un tratamiento de limpieza y centrándonos en los que tenían grietas o pérdidas matéricas en alguna región. De las figuras con estas características, se decidió utilizar para este estudio el modelo denominado “Caballo pequeño”, una escultura de bulto redondo, obra de Cristóbal Garrigó, datada en 1830, con número de ref.: MV-590. Se trata de un modelo, de pequeño tamaño, cuyas dimensiones en cm son 45,1 x 59,2 x 25,8 (Figuras 1 y 2).

Figuras 1 y 2. Modelo anatómico “Caballo pequeño”. Cristobal Garrigó, siglo XIX. Estado inicial de conservación. Foto: Luis Castelo.



El examen organoléptico de la pieza permitió constatar el lamentable estado de conservación del conjunto como resultado de las manipulaciones derivadas de los numerosos cambios de ubicación de la Real Escuela de Veterinaria a lo largo de su historia, pero también de la funcionalidad de la pieza, sin olvidar la desidia, el abandono y la falta de sensibilidad de quienes debieron velar por su conservación. Con el fin de paliar los daños localizados en las cuatro extremidades, la cola y las orejas del modelo, se consideró conveniente un tratamiento de reconstrucción volumétrica. Para la representación gráfica de las alteraciones, ha sido necesario realizar dibujos de cada lado de la pieza, dado su carácter tridimensional, y sobre ellos se ha marcado cada patología presente utilizando siempre como referencia fotografías en alta calidad y el modelo anatómico real. Se ha utilizado el programa de gráfica AutoCAD.

Con el fin de tener el máximo control posible de las reparaciones a realizar en la obra, así como del resultado obtenido, se tomó un registro tridimensional de la misma mediante fotogrametría. Se trata de un método de digitalización basado en la toma de multitud de imágenes desde diferentes puntos de vista alrededor del objeto (Figura 3), que luego son procesadas mediante un programa informático específico para alinearlas y generar una malla tridimensional. Para ello, se tomaron 168 fotografías en torno al modelo con un intervalo de 15° entre ellas, tanto en horizontal como en vertical. Las cámaras utilizadas fueron una Canon 7D Mark II, en la que se montó un objetivo Canon EF de 20mm de focal, $f/2.8$ USM y una cámara Canon 80D, con un objetivo 18-135mm.

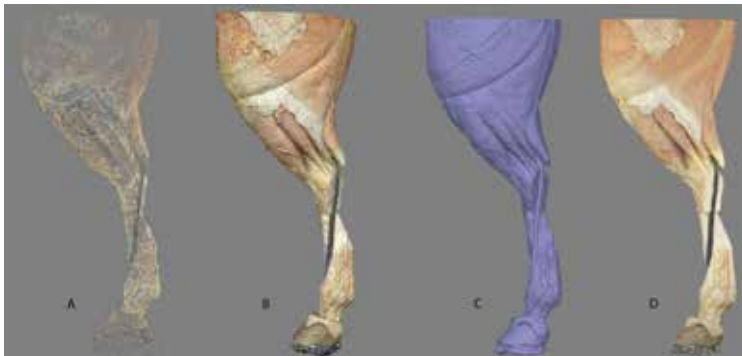
Figura 3. Registro fotográfico desde diferentes puntos de vista. Foto: Emanuel Sterp.



La escena fue iluminada mediante dos focos LED de 35 vatios. Las imágenes registradas tenían una resolución de 5472 x 3648 píxeles (20 megapíxeles) y se

almacenaron en formato RAW. Para poder minimizar los brillos sobre las figuras de cera y reducir en lo posible los artefactos que éstos generan al procesarse las imágenes, se instalaron tanto en el objetivo como en los focos unos filtros polarizadores de alta transmisión de luz. Se utilizó un valor $f/8$ de apertura de diafragma para capturar todas las imágenes. El sistema se estabilizó mediante trípode y se utilizó un cable disparador para evitar cualquier trepidación en la cámara durante la toma. Una vez finalizado el registro fotográfico, todas las fotografías fueron reveladas en Adobe Camera Raw, realizando los ajustes necesarios para reducir los brillos y sombras que afectaban al modelo y guardándolas finalmente en formato JPG de alta calidad. El equipo utilizado para este fin fue un ordenador tipo PC Intel® Core™ i7-6800K CPU de 3.4GHz, 64 GB de RAM y Tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 1070 de 8GB de RAM, con sistema operativo Windows 10 Pro. Posteriormente, todas las fotografías en formato JPG fueron procesadas en Agisoft Photoscan, donde se alinearon para obtener una malla tridimensional del objeto utilizando la precisión “máxima” y después fueron analizadas con calidad “Extra alta” para generar la nube densa de puntos. Más tarde, se utilizó dicha nube de puntos para crear una malla 3D del modelo igualmente en calidad máxima. La imagen de textura se creó en formato TIF a partir de la nube de puntos densa previamente obtenida y con una resolución de 4096 x 4096 píxeles. Esta imagen fue la que se aplicó a la malla 3D para aportarle el color y aspecto material del modelo original (Figura 4).

Figura 4. Fases del levantamiento fotogramétrico (detalle). A. Nube dispersa; B. Nube densa; C. Malla poligonal; D. Malla con textura fotográfica aplicada.



Una vez generado el modelo tridimensional, éste se utilizó para planificar la reconstrucción volumétrica del modelo anatómico del caballo. Para ello, se guardó una copia en Photoscan en formato OBJ ya que este tipo de archivo permite el intercambio de mallas 3D entre diferentes programas. De este modo, la figura pudo importarse desde Pixologic ZBrush, donde se reconstruyeron los defectos de material existentes y se repararon virtualmente las grietas encontradas. Para el modelado 3D de las zonas dañadas se utilizó una tableta gráfica Wacom Cintiq 13HD con 2048 niveles de presión y pantalla LED de 13” y 1920 x1080 píxeles de resolución (Figura 5).

Figura 5. Reconstrucción virtual de estructuras dañadas (Detalle). A. Modelo 3D;
B. Zona reconstruida mediante modelado con ZBrush.



El modelo digital reparado virtualmente fue analizado por especialistas del Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparada (Anatomía y Embriología) de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, quienes dieron su visto bueno a la reconstrucción propuesta de las diferentes estructuras anatómicas. Finalmente, la reconstrucción virtual fue aprobada por el Director del Museo Veterinario Complutense, el profesor Joaquín Sánchez de Lollano, tras lo cual se procedió a la restitución volumétrica del modelo físico de cera utilizando como referencias gráficas imágenes renderizadas de cada una de las vistas principales del modelo informático. Se utilizó una nueva pasta de cera a la que se añadieron en caliente los pigmentos adecuados para dotar al material de un color similar al del modelo original en el área correspondiente. Una vez preparado el material, se procedió a modelar las estructuras que se habían perdido en el modelo anatómico hasta lograr la restitución volumétrica completa.

En la segunda parte del estudio se comprobó la utilidad para la divulgación científica y como herramienta de investigación de las nuevas plataformas de Internet para la visualización de objetos 3D. Este tipo de páginas web han creado en los últimos años la posibilidad de manipular objetos 3D, tanto en pantalla como en dispositivos de realidad virtual, para poderlos observar desde cualquier ángulo y con todo detalle, adquiriendo una gran popularidad en Internet gracias a que este tipo de contenidos puede ser difundido directamente a través de las principales redes sociales. En concreto, este estudio se centró en la web de Sketchfab.com, la plataforma de referencia en Internet para este tipo de tecnología debido a la gran cantidad de modelos publicados y a las funciones disponibles en ella.

Para esta parte del estudio, se utilizó el modelo en cera “Cerebro clásico de caballo” (número de ref.: MV-682), elaborado en cera, también en 1830, por Cristóbal Garrigó dentro del gabinete anatómico de la Real Escuela Veterinaria de Madrid (Figura 6). La escultura fue objeto de una exhaustiva diagnosis por parte del equipo de la Dra. Alicia Sánchez Ortiz para determinar tanto su manufactura técnica como su estado de conservación y tras ello se procedió a realizar los tratamientos de restauración que consistieron en una limpieza de los agentes contaminantes depositados sobre la superficie de la cera con ayuda de sistemas acuosos y en la reconstrucción en cera de un elemento faltante en la tapa superior por medio de moldes.

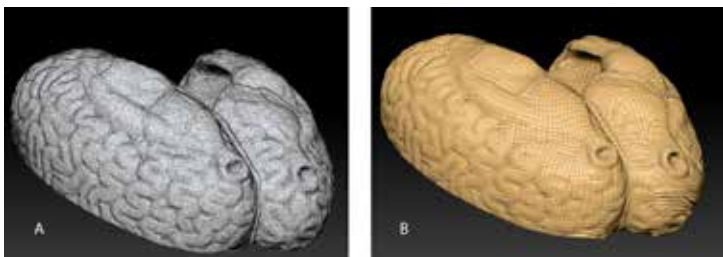
Figura 6. Modelo anatómico “Cerebro clásico de caballo”. Cristóbal Garrigó, siglo XIX. Estado inicial de conservación. Foto: Luis Castelo.



En esta ocasión se procedió de igual modo que en el caso anterior para la obtención de la copia virtual mediante fotogrametría. Los materiales empleados fueron los mismos a excepción del objetivo utilizado, que para esta digitalización fue una lente Canon de 50 mm de distancia focal, con función macro y $f/1,8$. La elección de ésta focal se debió a que se consideró más apropiada para el tamaño de piezas que componían el modelo clásico de caballo. Tanto la cámara como los focos con que se iluminaron las piezas, así como el sistema de filtros polarizadores usados fueron los ya descritos para el caso anterior. Una diferencia importante en el abordaje de esta fotogrametría en relación con el empleado para la digitalización del modelo denominado “Caballo pequeño” es que, debido a que éste último está compuesto por varias piezas, el registro de fotografía se realizó de forma independiente para cada una de ellas. Igualmente el procesado de las imágenes correspondientes a cada una de las partes que componían el modelo clásico de caballo se realizó por separado para todas ellas en el programa Photoscan, utilizando los mismos ajustes ya comentados en el modelo anterior. De esta manera se obtuvieron 7 mallas 3D con sus correspondientes texturas de imagen, que posteriormente fueron montadas unas junto a otras de forma virtual en ZBrush.

Con el fin de optimizar el modelo 3D de cara a su publicación en la plataforma Sketchfab.com, se redujo sensiblemente el número de polígonos de la malla mediante retopología para dejarlo en aproximadamente 250.000 por pieza (Figura 7).

Figura 7. Reducción de polígonos mediante retopología.



Posteriormente, tanto la malla 3D como la imagen de textura se exportaron en formatos compatibles con dicha web, guardándose un archivo OBJ para la malla 3D y un archivo JPG de calidad media para la imagen.

Para la incorporación de notas explicativas desplegables sobre el modelo anatómico virtual, se identificaron aquellas estructuras que debían ser etiquetadas y se crearon los correspondientes textos para cada una de ellas. Asimismo, se vio oportuno la creación de una pequeña animación que permitiese ver en primer lugar el modelo ya montado y, posteriormente, cada una de sus piezas por separado. Para esta finalidad, se utilizó el programa 3dsmax de Autodesk, exportándose la animación generada en un formato fbx, que posteriormente se publicó en Sketchfab.com. Una vez alojado el modelo en esta plataforma, se procedió a crear sobre él las notas desplegables antes mencionadas y a introducir los textos en ellas. Finalmente, se realizaron los ajustes oportunos para una correcta visualización del modelo y se establecieron las restricciones de uso y descarga deseadas.

RESULTADOS

En la primera de las intervenciones realizadas en este estudio, se obtuvo como resultado de la digitalización del modelo denominado “caballo pequeño”, un modelo tridimensional en formato digital con un recuento de polígonos algo superior a los dos millones (Figura 8).

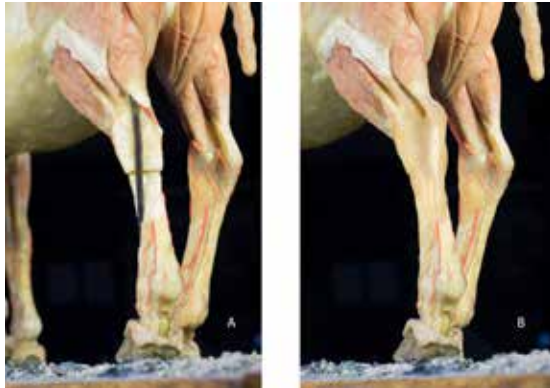
Figura 8. Modelo 3D obtenido por fotogrametría del modelo en cera “Caballo pequeño”.



A partir de la malla 3D se pudo realizar con éxito la restitución volumétrica virtual, cuya corrección estructural fue confirmada por profesores especialistas

en anatomía animal pertenecientes al Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparada (Anatomía y Embriología) de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid y posteriormente aprobada por el Director del Museo Veterinario, al que pertenece la pieza. Finalmente, teniendo como referencia la reconstrucción virtual, se crearon con pasta de cera las piezas correspondientes a las partes desaparecidas, encajando éstas correctamente en el modelo original (Figura 9).

Figura 9. Reintegración volumétrica digital. A. Estado original del modelo (detalle);
B. Área dañada con pieza de cera reconstruida ubicada en su posición.



En la segunda intervención realizada, se obtuvo una malla 3D por cada una de las piezas que constituían el modelo clásico de caballo, siendo el recuento total de polígonos del conjunto de algo más de 12 millones, que, una vez optimizados para su publicación en internet, fueron reducidos a un total de 1,8 millones de polígonos (Figura 10). Las texturas generadas a partir de la nube de puntos densa tenían una resolución de 4096 x 4096 píxeles para cada pieza.

Figura 10. “Cerebro clásico de caballo”. Modelo virtual en Sketchfab.com.



Los profesores de anatomía consultados, así como los responsables del Museo Veterinario de la Universidad Complutense de Madrid valoraron favorablemente la utilidad y la calidad del modelo virtualizado tanto para los estudiantes de veterinaria como para otros estudiantes interesados en la anatomía animal. Asimismo, se consideró positivamente la capacidad divulgativa de esta plataforma en relación con este tipo de colecciones científicas.

DISCUSIÓN

Una vez concluido el estudio podemos afirmar que las nuevas tecnologías de digitalización 3D han sido de gran utilidad en los dos casos planteados en la investigación. Por una parte, se han comportado como una potente y eficaz herramienta para la planificación de la reconstrucción del modelo anatómico de cera sobre el que se ha intervenido. En este sentido, podemos afirmar que su uso ha reducido notablemente, en comparación con los medios tradicionales, los tiempos de trabajo para la creación de una copia del modelo sobre la que planificar la intervención definitiva sobre la obra original. Además, ha permitido enviar vía telemática las imágenes resultantes de la reconstrucción virtual a otros investigadores para que valorasen su corrección anatómica. Asimismo, una vez terminada la intervención, la superposición del modelo restaurado por medios informáticos y el modelo 3D obtenido a partir de la obra original completamente restaurada, ha facilitado en gran medida la comparación entre ellos.

Por otra parte, la digitalización y publicación en Internet del modelo clásico del cerebro de caballo ha demostrado ser una tecnología de gran utilidad para la difusión de modelos científicos, suponiendo esta experiencia un primer paso para la futura creación de una muestra virtual de la colección de modelos anatómicos del Museo Veterinario Complutense.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Vicerrectorado de Extensión Universitaria, Cultura y Deporte, y al profesor Joaquín Sánchez de Lollano, director del Museo Veterinario Complutense, por el apoyo constante recibido en el desarrollo de este proyecto.

Investigación financiada dentro del Proyecto I+D Ref.: HAR2013-42460-P y del Proyecto Santander-UCM Ref.: PR26/16-20322.

REFERENCIAS

- Alfageme, B., & Torres, T. (2006). Uso formativo de los Museos Universitarios en España. *Revista de Teoría Y Didáctica de Las Ciencias Sociales*, 11, 263–286.
- Garstki, K. (2017). Virtual Representation: the Production of 3D Digital Artifacts. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 24(3), 726–750. <https://doi.org/10.1007/s10816-016-9285-z>

- González Bueno, A. (2003). Museos de ciencia en las universidades: algunas reflexiones y una descripción. *Revista de Museología*, 27–28, 67–71.
- Ludwing, D., & Weber, C. (2013). University Collections as Archives of Scientific Practice. *Revista Electrónica de Fuentes Y Archivos*, 4, 85–94.
- McCarthy, J. (2014). Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement. *Journal of Archaeological Science*, 43(1), 175–185. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.01.010>
- Nancarrow, J.-H. (2016). Democratizing the Digital Collection. *Museum Worlds*, 4(1), 63–77. <https://doi.org/10.3167/armw.2016.040106>
- Pierdicca, R., Frontoni, E., Malinverni, E. S., Colosi, F., & Orazi, R. (2016). Virtual reconstruction of archaeological heritage using a combination of photogrammetric techniques: Huaca Arco Iris, Chan Chan, Peru. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 3(3), 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2016.06.002>
- Shteir, A.B. , Lighthman, B. (2007). Figuring It Out: Science, Gender, and Visual Culture. *Isis*, 98(4), 819–821. <https://doi.org/10.1086/529284>
- Zarzoso, A. (2016). Colecciones anatómicas y regímenes de exhibición . Una introducción. *Dynamis*, 36(1), 11–25. <https://doi.org/10.4321/S0211-95362016000100001>