
UNA EXPERIENCIA DE DIGITALIZACIÓN TRIDIMENSIONAL EN EL CAMPO DE LA CONSERVACIÓN ARQUEOLÓGICA EN LA ESCALA ARTEFACTUAL: EL COMPLEJO FUNERARIO EL SALITRE, CULTURA TOLTECA, MÉXICO

Emma Isabel Medina González y Juan Carlos Equihua Manrique

INTRODUCCIÓN

El uso de tecnología de digitalización tridimensional (aquí denominada *D-3D*) —antes inaccesible debido a factores económicos, tecnológicos y de portabilidad— ha adquirido mundialmente un papel de creciente importancia en el campo del patrimonio cultural. En efecto, contar con una forma de documentación digital de alta precisión, con gran capacidad analítica y amplio potencial de distribución es una razón decisiva que ha hecho de la imagen 3D una herramienta fundamental para el registro, investigación, intercambio y divulgación pública del conocimiento sobre nuestro legado patrimonial. Gracias a la proliferación de escáneres tridimensionales comerciales no solo se ha facilitado que su uso sea una realidad para muchos profesionales de las áreas de arquitectura, arqueología, conservación y museología, sino también se ha acelerado, incrementado, intensificado y diversificado su utilización en la interdisciplinariedad. Amén de estas consideraciones, son evidentes las notables evoluciones metodológicas: en la actualidad, el campo de la *D-3D* se ha constituido como un ámbito de investigación de propio derecho, caracterizado por una multitud de formas de aproximación a su empleo, que, consecuentemente, resultan en una diversidad de resultados, y en la apertura de nuevas líneas futuras de indagación.¹

1 D. Abate *et al.*, G85 “3D modeling and remote rendering technique of a high definition cultural heritage artefact”, *Procedia Computer Science*, núm. 3, 2011, pp. 848-852, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2010.12.139>>, consultado en agosto del 2017; Fabrizio I. Apollonio, Marco Gaiani y G. Benedetto Benedetti, “3D reality-based artefact models for the management of archaeological sites using 3D GIS: a framework starting from the case study of the Pompeii archaeological area”, *Journal of Archaeological Science*, núm. 39, 2012, pp. 1271-1287, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.05.011>>.

El empleo de la D-3D en el ámbito de la conservación-restauración es relativamente nuevo; no obstante, los últimos años han sido testigos de una natural explosión en su aplicación. Ello se debe en gran parte a las ventajas que ofrece la tecnología, que, aunque ya señaladas en seminales contribuciones,² vale la pena subrayar aquí. En primer lugar, no debe olvidarse que el escáner es, fundamentalmente, un instrumento de medición de alta precisión que provee de un registro de alta resolución y calidad sobre la superficie topográfica del objeto a una escala submilimétrica, la cual permite cálculos sobre su geometría, textura superficial y volumen. Derivado de ello, la tecnología es capaz de crear imágenes tridimensionales, lo que ofrece una herramienta doble: de documentación y de análisis, además, de naturaleza no destructiva y totalmente inocua, ya que durante el proceso de recuperación de datos no hay necesidad de contacto físico con

jas.2011.12.034>, consultado en agosto del 2017; Lucia Arbace et al., "Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 14, 2013, pp. 332-345, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.06.008>>, consultado en agosto del 2017; Fabio Bruno et al., "From 3D reconstruction to virtual reality: a complete methodology for digital archaeological exhibition", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 11, 2010, pp. 42-49, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2009.02.006>>, consultado en agosto del 2017; Peter C. Dawson et al., "Application of 3D laser scanning to the preservation of Fort Conger, a historic polar research base on Northern Ellesmere Island, Arctic Canada", *Arctic*, núm. 66, 2013, pp. 147-158; Susan C. Kuzminsky y Megan S. Gardiner, "Three-dimensional laser scanning: potential uses for museum conservation and scientific research", *Journal of Archaeological Science*, núm. 39, 2012, pp. 2744-2751, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.04.020>>, consultado en agosto del 2017; Karsten Lambers et al., "Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period Site of Pinchango Alto, Palpa, Peru", *Journal of Archaeological Science*, núm. 34, 2007, pp. 1702-1712, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2006.12.008>>, consultado en agosto del 2017; Eric Lapp y Joe Nicoli, "Exploring 3D modeling, fingerprint extraction, and other scanning applications for ancient clay oil lamps", *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, núm. 1, 2014, pp. 34-44, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2013.12.001>>, consultado en agosto del 2017; Ma. Amparo Núñez, Felipe Buill y Manel Edo, "3D model of the Can Sadurní cave", *Journal of Archaeological Science*, núm. 40, 2013, pp. 4420-4428, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.006>>, consultado en agosto del 2017; Hee-Kyung Park, Jin-Woo Chung y Hong-Seop Kho, "Use of hand-held laser scanning in the assessment of craniometry", *Forensic Science International*, núm. 160, 2006, pp. 200-206, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2005.10.007>>, consultado en agosto del 2017; George Pavlidis et al., "Methods for 3D digitization of cultural heritage", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 8, 2007, pp. 93-98, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2006.10.007>>, consultado en agosto del 2017; Arianna Pesci et al., "Laser scanning and digital imaging for the investigation of an ancient building: Palazzo d'Accursio study case (Bologna, Italy)", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 13, 2012, pp. 215-220, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2011.09.004>>, consultado en agosto del 2017; Heinz Rùther et al., "Laser scanning for conservation and research of African cultural heritage sites: the case study of Wonderwerk cave, South Africa", *Journal of Archaeological Science*, núm. 36, 2009, pp. 1847-1856, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.04.012>>, consultado en agosto del 2017; Camille Simon Chane et al., "Integration of 3D and multispectral data for cultural heritage applications: survey and perspectives", *Image and Vision Computing*, núm. 31, 2013, pp. 91-102, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.imavis.2012.10.006>>, consultado en agosto del 2017.

2 Massimiliano Pieraccini, Gabriele Guidi y Carlo Atzeni, "3D digitizing of cultural heritage", *Journal of Cultu-*

el objeto. Como resultado de la digitalización, el registro gráfico tridimensional de la estructura del objeto puede conjuntarse con otras tecnologías digitales —como la radiología y la tomografía— para revelar la estructura interna y las relaciones espaciales de sus componentes en un formato en alta resolución.

Los anteriores beneficios explicitan por sí mismos por qué el D-3D es tan notable herramienta para la documentación e investigación en el ámbito de la conservación patrimonial, particularmente, para la creación de repositorios electrónicos/bases de datos tridimensionales, la recuperación de datos sobre técnicas de manufactura y usos, el análisis artefactual, la evaluación de intervenciones, el monitoreo del estado de conservación y el apoyo en la toma de decisiones para la conservación-restauración y la restauración virtual.³

En México, la tecnología láser tridimensional se ha empleado extensivamente para el registro de dos tipos de bienes patrimoniales: los edificados y los escultóricos, con un amplio espectro espacio-temporal que cubre diversas latitudes y culturas, así como dos periodos concretos: la época prehispánica y la virreinal.⁴ Particularmente, el equipo del Laboratorio de Imagen y Análisis Dimensional, de la Coordinación Nacional de Monumentos Históricos, perteneciente al Instituto Nacional de Antropología e Historia (LIAD-CNMH-INAH), ha emprendido pasos fundamentales en el levantamiento tridimensional de patrimonio arquitectónico, histórico y arqueológico, y conformado la base de datos más importante y extensa del país de su tipo.

El proyecto de tecnología 3D por barrido láser aplicada al estudio, protección, conservación y difusión del patrimonio cultural de México, INAH (Convocatoria INFR-2014-01, Conacyt, México), de la propia CNMH, INAH, coordinado por la doctora Jessica Ramírez, abrió nuevos horizontes al instaurar una línea de investigación en materia de conservación arqueológica, a cargo de Isabel Medina-González. En lo particular, esta iniciativa tiene como objeto general aplicar la tecnología D-3D en una diversidad de escalas de patrimonio arqueológico para obtener modelos digitales y formar una base de datos con la que iniciar el desarrollo

ral Heritage, núm. 2, 2001, pp. 63-70, documento electrónico disponible en <[http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074\(01\)01108-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074(01)01108-6)>, consultado en agosto del 2017. Melvin J. Wachowiak y Basiliki Vicky Karas, "3D scanning and replication for museum and cultural heritage application", *Journal for the American Institute of Conservation*, núm. 48, 2015, pp. 141-158.

3 Heinz Rüther, *op. cit.* Xi Zhang *et al.*, "Process for the 3D virtual reconstruction of a microcultural heritage artifact obtained by synchrotron radiation CT technology using open source and free software", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 13, 2012, pp. 221-225, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2011.08.004>>, consultado en agosto del 2017. Arbace, *et al.*, *op. cit.* Melvin J. Wachowiak y Basiliki Vicky Karas, *op. cit.*

4 Ángel Mora Flores, "Tecnología escáner láser", *Intervención. Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, núm. 2 (México, Instituto Nacional de Antropología e Historia), 2009.

de metodologías específicas, así como explorar su uso en procesos de documentación, diagnóstico, monitoreo y divulgación en materia de conservación arqueológica.

Para ello, nos propusimos empezar una serie de pruebas pilotos en el empleo de la D-3D en el ámbito de entidades discretas con escalas variables y diversidad material. Un primer componente de esta línea de investigación abarcó los artefactos que conforman el complejo funerario El Salitre, hallazgo asociado con la cultura tolteca, cuyos antecedentes se enuncian a continuación.

ANTECEDENTES SOBRE EL COMPLEJO FUNERARIO EL SALITRE

La aproximación a la cultura tolteca ha presentado un importante desafío para los estudiosos de la Antigüedad en México. Efectivamente, un vasto conjunto de referencias documentales sobre los toltecas se encuentra en varios registros de la tradición nahua, principalmente, del siglo XVI, el cual enfatiza una imagen idealizada que se ha subsumido en la noción del “Toltecayotl”, definido como la suma de cualidades de vida urbana, la quintaesencia de la civilización y del desarrollo sofisticado del ámbito artístico-cultural prehispánico.⁵ De acuerdo con Xavier Noguez, aquí es donde “se presenta el problema de relacionar la ‘modesta realidad’ descubierta por la arqueología que retrata la fuentes nahuas y la sobreestimada ‘toltequidad’”⁶ en el sitio de Tula, ubicado en el municipio de Tula de Allende, estado de Hidalgo.

Ahora bien, un aspecto fundamental que se ha de considerar es que la información etnohistórica de la que deriva la noción del Toltecayotl data de 370 años después de la caída de la ciudad prehispánica de Tula —hoy ubicada en el actual municipio de Tula de Allende, estado de Hidalgo—, cuyo desarrollo data de entre 750 d. C. y el 1250 d. C.⁷ Asimismo, debe considerarse que, aunque Tula ha sido objeto de reconocimiento y excavaciones arqueológicas durante más de un siglo, muchas de las iniciativas al respecto han sido interminantes; no obstante, la suma de proyectos de arqueología intensiva, prospección arqueológica y salvamento emprendidos desde mediados del siglo XX hasta la actualidad en el centro cívico ceremonial, áreas adyacentes dentro de la zona arqueológica,

5 Xavier Noguez, “La zona del altiplano central en el Posclásico: la etapa Tolteca”, en Linda Manzanilla y Leonardo López Luján (coords.), *Historia antigua de México*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, II, 1995, pp. 189-224; Demetrio Sodi, “Consideraciones sobre el origen del Toltecayotl”, *Estudios de Cultura Náhuatl*, núm. 3, 1962, pp. 55-73; Nigel Davis, “Tula: realidad, mito, símbolo”, en Eduardo Matos Moctezuma (coord.), *Proyecto Tula* (primera parte), México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1988, pp. 109-144.

6 Noguez, *op. cit.*, p. 197.

7 Robert Cobean, Elizabeth Jiménez y Alba Guadalupe Mastache, *Tula*, México, El Colegio de México, Fondo de Cultura Económica, 2012.

así como en su periferia, ya han documentado muchos de los aspectos urbanos, económicos, políticos y de desarrollo artístico de la compleja cultura tolteca.⁸

Hoy sabemos que durante el apogeo de la ciudad de Tula, datado entre el 900/1000 y 1150 d. C., esta se extendía a lo largo de casi 16 km², donde se ubicaban hasta 2 000 unidades habitacionales, gran parte de ellas agrupadas en entidades colectivas territoriales —“barrios”—, que articulaban la estructura a la vida pública, económica y religiosa de la urbe.⁹ Fue precisamente en una de estas áreas periféricas a la actual zona arqueológica de Tula donde, en un predio de 70 m² de la actual colonia El Salitre (figura 1), fue descubierto un importante complejo funerario, objeto de estudio de la presente contribución.

Para principiar, vale proporcionar un marco espacio-temporal del área denominada “El Salitre”: de acuerdo con Robert Cobean, Elizabeth Jiménez y Alba



Figura 1. Localización del predio El Salitre, Tula de Allende, Hidalgo (Tomado de Equihua 2007, p. 5. Dibujó: Arq. Elizabeth Ojeda).

8 *Ibidem*, pp. 20-21.

9 *Ibidem*, pp. 50 y 124.

Guadalupe Mastache, esta se ubica en una franja pantanosa de aproximadamente 1 km², donde originalmente convergían los vecinos manantiales salobres —de ahí su nombre— de Alpuyecá, que se estacaban dentro del perímetro de la ciudad, constituyendo un recurso que seguramente proporcionaba ventajas de abastecimiento de flora y fauna lacustres.¹⁰

Aunque se conoce que para la década de 1990, El Salitre estuvo inundado al grado de conformar un pantano con cañas de agua,¹¹ algunas exploraciones arqueológicas han registrado evidencias de actividad humana para la época prehispánica. Mientras que en 1943 Montemayor reportó diversos entierros en el área, en la década de 1980, Healan reportó grandes concentraciones de obsidiana en superficie en su alrededor, que fueron asociadas a talleres de producción y áreas domésticas.¹² Con base en ello, y ulteriores registros arqueológicos, se ha propuesto que para el Posclásico Temprano la antigua zona lacustre de El Salitre se había transformado en una serie de conjuntos arquitectónicos habitacionales, de talleres y templos, que configuraban uno de los principales barrios de la Gran Tollan.¹³

El hallazgo del complejo funerario de El Salitre tuvo lugar en el año 2003, en un escenario previo al impacto de un desarrollo constructivo urbano como parte de una iniciativa de salvamento arqueológico, con la coordinación del arqueólogo Juan Carlos Equihua: en las operaciones se siguieron las pautas de excavación estratigráfica, que facilitaron el cabal registro del contexto arqueológico que, por su parte, reveló la presencia de un individuo cubierto de pigmentación roja y azul, asociado con el periodo tolteca por datación relativa.¹⁴

Ya desde su excavación, este conjunto destacó por la gran variabilidad constitutiva de su ajuar mortuorio, del que se mencionan especialmente: dos cerámicas sonaja; una olla tipo plumbate;¹⁵ dos conchas con pigmento rojo; cuentas de hueso y concha y dos anillos metálicos (figura 2).

Las circunstancias del hallazgo condujeron a que se emplearan distintas técnicas de rescate: levantamientos directos de los artefactos que, en el caso

10 *Ibidem*, pp. 50-51.

11 *Idem*.

12 Cfr. Felipe Montemayor, "Informe general sobre los entierros encontrados en la cuarta temporada de exploraciones arqueológicas en Tula, en el lugar denominado "El Salitre", septiembre de 1943, 8 pp., 1 dibujo, 1 plano, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1943; Dean Healan, "Informe preliminar de las Investigaciones en Tula, Hidalgo, por la Universidad de Tulane, 1980-1981", en Dolores Soto Arechavaleta (ed.), *Nuevos enfoques en el estudio de la lítica*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1990, pp. 297-330.

13 Juan Carlos Equihua, *Informe final. Rescate arqueológico El Salitre, Tula*, mecanoescrito, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2007.

14 *Ibidem*.

15 La cerámica Plumbate Tohil, de color naranja o gris y de aspecto metálico, fue fabricada en la región del Soconusco, en la costa de Guatemala y Chiapas; fue un artículo de intercambio comercial de gran extensión en Mesoamérica durante el apogeo de Tula: de hecho, conjuntamente con la obsidiana de Pachuca, Hidalgo, y, de

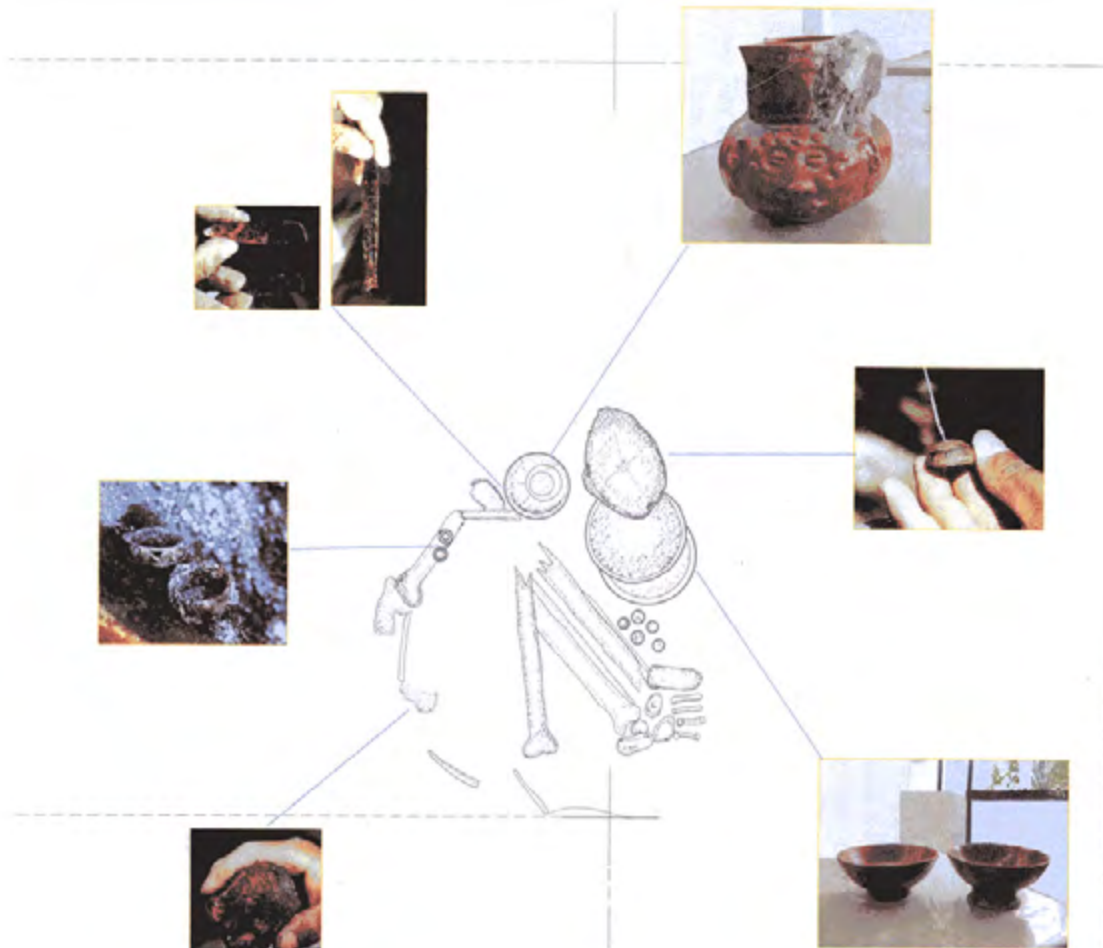


Figura 2. Complejo Funerario Descubierto en el Predio de El Salitre. (Fotografía: Juan Carlos Equihua, Tomado de Equihua, 2007).



de las cerámicas completas, incluyeron el material de depósito en su interior, así como unidades en bloque directo, compuestas de restos óseos en grave estado de conservación, contenidas en un depósito arcilloso compactado.

Ahora bien, fue debido tanto a la inusual presencia de materiales metálicos¹⁶ en alto estado de corrosión en un contexto funerario asociado con la cultura tolteca como al estado precario de la osamenta ósea en los bloques, como se buscó la participación de conservadores-restauradores para su intervención. Ante la complejidad del caso, se decidió conformar el Proyecto Integrado de Investigación y Conservación del Complejo Arqueológico de "El Salitre", coordinado por Isabel Medina-González, iniciativa en la que ha participado un equipo multidisciplinario de especialistas adscritos tanto a diversas instancias del INAH como de otras instituciones científicas nacionales.¹⁷ No es el objeto de esta contribución explicitar todos los avances logrados por este proyecto, pero baste mencionar que, como resultado de ello, se han obtenido diversos logros y avances, entre los que destacan:

- La microexcavación de depósitos con contenidos cerámicos, lo que dio el lugar al hallazgo de más de 60 teselas de turquesa en el interior de la olla plumbate
- La recuperación, vía excavación arqueológica de bloques, de algunos restos óseos, incluido un fragmento considerable de cráneo, de una impronta de huella de pie con restos de pigmento azul y rojo, así como de más de 400 cuentas triangulares y cilíndricas pertenecientes a un collar
- La identificación de la inusual bicromía rojo-azul en los huesos

La documentación, investigación en la materialidad y tecnología, y la conservación-restauración de la totalidad del rico ajuar mortuario, cuya composición de artefactos de prestigio son indicativos de la alta jerarquía del individuo, así

Ucareo, Michoacán, algunos tipos de cerámica Anaranjado Fino, y la turquesa, probablemente extraída en Nuevo México, la cerámica Plumbate se considera como un marcador de comercio de larga distancia del horizonte tolteca. *Cfr.* Cobeau, Jiménez y Mastache, *op. cit.*, p. 34.

¹⁶ Hasta el momento, no se han ubicado referencias bibliográficas de la metalurgia tolteca. Por otra parte, de acuerdo con el curador de la Sala Tolteca del Museo Nacional de Antropología, doctor Stephen Castillo (Comunicación personal, 2017), en esa institución son escasas las muestras de metales asociados a dicha cultura provenientes de contextos arqueológicos controlados.

¹⁷ Este proyecto ha contado con la colaboración de los siguientes profesionales: doctor Manuel Espinosa Pesqueira (LANCIC-INIC), doctora Josefina Bautista (Subdirección de Antropología Física, INAH), doctor José Luis Ruvalcaba (LANCIC-IF-UNAM), químico Javier Vázquez (ENCRyM-INAH), pasante en Arqueología Hilda Patricia Salgado, pasante en Arqueología Eduardo Tejera (ENAH-INAH), maestra Valeria García Vierna, fotógrafo Julio Broniman, licenciada Luisa Mainou (CNCPC-INAH), maestra Pilar Tapia, restauradora Karla Martínez, arqueóloga Osiris Quezada, restauradora Abigail Rodríguez (ENCRyM-INAH), cuya generosa colaboración ha sido invaluable.

como del resultado de conexiones de larga distancia y, por lo tanto, de la articulación de vínculos con otras culturas mesoamericanas del Posclásico Temprano.¹⁸

En la figura 3 se integra una síntesis sobre algunos notables componentes artefactuales del complejo funerario El Salitre, acompañados de una fotografía, así como por una breve enunciación de las intervenciones realizadas y de los resultados de su investigación en materialidad.

Cabe señalar que, dado que este proyecto partió de los principios de planificación estratégica, trabajo interdisciplinario y visión a largo plazo, ha sido posible establecer un modelo de práctica que busca contribuir al progreso teórico, metodológico, de investigación, intervención y formación profesional en el campo de la conservación arqueológica. Asimismo, se ha optado por incorporar oportunidades de colaboración en el área de la innovación tecnológica: es dentro de este marco donde se ubica la integración de la digitalización tridimensional.

18 Isabel Medina-González, *Diagnóstico y propuesta de conservación de dos anillos metálicos procedentes del rescate arqueológico "El Salitre", estado de Hidalgo*, mecanoescrito, México, Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural-Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2004. Isabel Medina-González, "La conservación integrada de dos anillos metálicos de origen prehispánico: el caso del proyecto de "El Salitre, Tula, Hidalgo", *Notas Corrosivas*, 2011 (México, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía), pp. 5-28. Isabel Medina-González y Manuel Espinosa Pesqueira, *Los colores de la muerte: resultados de un estudio científico sobre la policromía del complejo funerario del Salitre, Tula, Hidalgo*, cartel presentado en el IV Congreso Latinoamericano de Arqueometría, México, 2014. Isabel Medina-González et al., *Informe final del proyecto integrado de investigación y conservación del complejo funerario el Salitre*, México, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia (en proceso).








NUM.	ARTEFACTO	MATERIALES CONSTITUTIVOS IDENTIFICADOS	INTERVENCIONES DE CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN	FOTOGRAFÍA
1	Impronta de huella de pie compuesta de restos óseos y matriz de depósito con pigmento	Hueso, tierra arcillosa y pigmentos	Consolidación puntual del pigmento y montaje	
2	Concha bivalva con pigmento en interior	Caparazón de molusco natural con pigmento	Sin intervenciones	
3	Olla tipo plumbate	Material cerámico modelado y cocido con decoración en pastillaje y engobe	Resanes de pasta cerámica policromados con pigmentos naturales al barniz	
4	Cajete tipo sonaja	Material cerámico modelado y cocido con monocromía precocción	Resanes de pasta cerámica policromados con pigmentos naturales al barniz	
5	Montaje de cráneo	Restos de mandíbula y sector de cráneo de individuo en matriz de tierra	Consolidación puntual del pigmento y montaje	
6	Collar de concha y hueso	Cuentas triangulares de concha y cuentas redondeadas en hueso trabajadas y pulidas, unidas	Consolidación, unión con hilo de seda y cuentas de acrílico	
7	Anillo metálico	Aleación de cobre	Limpieza de productos de corrosión, desalinización y pasivado	

Figura 3. Lista de artefactos arqueológicos seleccionados del complejo funerario El Salitre para digitalización tridimensional (Fotografía: Isabel Medina-González, 2013).

PROCEDIMIENTO DE DIGITALIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DE UNA COLECCIÓN

La finalidad específica de este componente de la línea de investigación fue dar inicio con pruebas de digitalización tridimensional con un equipo escáner de luz blanca, marca Go!SCAN 3D© en artefactos de procedencia arqueológica. Según sus especificaciones comerciales, este equipo ofrece una serie de ventajas en la digitalización de objetos, entre las que destacan:

- *Rapidez*: escaneo en objetos típicos en menos de 5 minutos
- *Flexibilidad*: movilidad de objeto y escáner en el proceso de captura
- *Precisión*: en color y detalle (hasta 0.1 mm)¹⁹

Se decidió que el proceso de digitalización tridimensional se llevara a cabo en una tipología de entidades patrimoniales, antes no aproximadas por el LIAD-CNMH-INAH, la escala artefactual. Asimismo, se optó por que los casos seleccionados se caracterizaran por su diversidad formal, variabilidad material y diferencia dimensional, con la finalidad de evaluar las fortalezas y limitaciones de la tecnología. Por lo tanto, se optó por una serie de "objetos" cerámicos, conquiológicos (es decir, transformados o elaborados a partir del exoesqueleto de moluscos, v. gr., conchas), metálicos, óseos y de segmentos de matriz de depósito, todos ellos pertenecientes al complejo funerario El Salitre.

Un aspecto digno de mencionar es que el escaneo se realizó sobre bienes ya intervenidos con diversos procesos de conservación y restauración, de manera que se había cumplido no solo con su estabilización sino también con la optimización en la legibilidad de sus valores.

El proceso de escaneo de todas las piezas se realizó en el laboratorio del Seminario-Taller de Conservación Arqueológica de la ENCRyM-INAH, mientras que las labores de digitalización corrieron por cuenta del LIAD-CNMH-INAH (figura 4).

19 Go!SCAN, 2015 (página web), <www.goscan3d.com>, consultado en agosto del 2016.



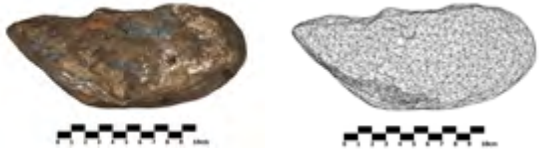




Figura 4. Experiencia de digitalización tridimensional del collar de concha y hueso del Complejo Funerario El Salitre (Fotografía: Isabel Medina-González, 2013).



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La figura 5 presenta los detalles del proceso de digitalización, así como los modelos tridimensionales, tanto triangulados como con textura (imagen), ambos con las escalas gráficas correspondientes.

Conforme, por un lado, los parámetros antes referidos, que comercialmente publicita el distribuidor del equipo en México y, por el otro, criterios adicionales correlativos al campo de la conservación-restauración, se puede es-

NUM.	ARTEFACTO	PROCESO DE DIGITALIZACIÓN	MODELOS TRIDIMENSIONALES
1	Impronta de huella de pie compuesta de restos óseos y matriz de depósito con pigmento	La captura de datos fue sencilla debido a su tamaño medio, a su geometría abierta y a la presencia de textura, que facilitó el escaneo, realizado solo en la superficie exterior.	
2	Concha bivalva con pigmento en interior	El escaneo fue poco complejo, no solo debido a su tamaño reducido, sino también a su geometría abierta, que facilitó el escaneo tanto del interior como del exterior. Asimismo, el proceso de captura de datos fue facilitado por la textura natural de la concha en su exterior y, en el caso de su interior, por la presencia de pigmento, que sirvió como difusor del brillo iridiscente que genera la reflexión de luz blanca sobre la superficie del endostraco.	
3	Olla tipo plumbate	La digitalización de este artefacto fue de poca complejidad debido a que sus dimensiones permitieron un barrido del haz luminoso sobre un campo total de superficie, y a que el volumen ofrecía posibilidades de reconocimiento de las áreas escaneadas por el equipo. La ausencia de textura y relieve, así como la naturaleza brillante de la superficie cerámica con policromía poscocción de color rojo del artefacto, no generaron dificultades de lectura por el equipo. Tal como lo indica la bibliografía, el caso en cuestión, como en la mayoría de los objetos, requirió múltiples escaneos desde diferentes ángulos para capturar la totalidad de la imagen. Lo anterior se vio favorecido por la posibilidad de movimiento tanto del equipo como del artefacto, razón por lo que la recuperación de datos se logró en menos de 20 minutos. Se consiguió la digitalización completa del interior y exterior del artefacto, ya que su geometría abierta permitió un acceso libre del escaneo.	
4	Cajete tipo sonaja	La digitalización de este artefacto fue semejante al del caso anterior, con tres importantes diferencias. La primera de ellas, relacionada con la presencia de relieve en la superficie cerámica, que representó una ventaja para acelerar el proceso de reconocimiento de las áreas ya escaneadas por el equipo. La segunda corresponde a la geometría del objeto, cuyo interior se escaneó solo parcialmente, debido a la escasa abertura de la boca, que dificultaba la penetración del haz luminoso. En concurrencia con las anteriores variables, el escaneo del objeto se realizó en un tiempo menor: 20 minutos.	
5	Montaje de cráneo	La captura de datos fue sencilla y expedita, gracias a la geometría del artefacto y a la gran abundancia de textura y relieve, a pesar de que los espacios en hendiduras muy profundas no se registraron en la digitalización.	

6	Collar de concha y hueso	La captura fue dispendiosa debido al tamaño del objeto y a que este presentaba poca textura, por lo que fue necesario usar <i>targets</i> sobre el fondo. Debido al montaje, el escaneo solo se realizó en la cara superior, que se duplicó en el proceso de digitalización.		
7	Anillo metálico	El material no ofreció problemáticas en el escaneo por luz blanca debido a la pérdida de brillo metálico por efectos de procesos de corrosión e intervención de pasivado. Aun así no fue posible realizar la captura completa de datos debido al reducido tamaño del artefacto, la fineza de sus detalles y la dificultad de manipulación. Para tratar de mejorar el proceso, el artefacto se suspendió y se realizaron pruebas con una escenografía de <i>targets</i> , pero el acomodo comprometía la operación de la captura de datos desde diversos ángulos.		

Figura 5. Lista de artefactos arqueológicos seleccionados del complejo funerario; desarrollo del proceso de digitalización tridimensional y modelo tridimensional resultante.

tablecer una evaluación basada en los resultados mencionados.

Para iniciar, hay que considerar un par de limitaciones:

- Aunque dependiente de la destreza del operador, el escaneo del equipo no correspondió en ningún caso al rango publicitado comercialmente (5 minutos), lo que se debe, por una parte, a limitaciones en la movilidad de los artefactos arqueológicos, en virtud de su estado delicado, y por la otra, a la necesidad, como indica la bibliografía,²⁰ de realizar escaneos desde diferentes ángulos para captar la totalidad de la superficie. En este sentido, parece recomendable integrar sistemas de soporte rotativos para la captura de datos de artefactos de dimensiones discretas, como los mencionados por algunos autores,²¹ ya que ellos aumentarán la flexibilidad del empleo del equipo, a la par de posibilitar la movilidad de los artefactos sin el riesgo derivado de la manipulación
- La captura de datos fue limitándose de acuerdo con dos variables: reducción tanto de tamaño como de volumetría o textura. Por una parte, los artefactos muy pequeños y con detalles finos —como el anillo de metal—

20 F. Bernardini y H. Rushmeier, "The 3D model acquisition pipeline", *Computer Graphics Forum*, núm. 21, 2002, pp. 149-72, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1111/1467-8659.00574>>, consultado en agosto del 2016.

21 Melvin J. Wachowiak y Basiliki Vicky Karas, *op. cit.*

parecen limítrofes para la lectura del instrumento, problema que habrá de subsanarse con técnica y creatividad. Por otra parte, los objetos con reducido volumen, relieve o textura representaron un desafío para la captura de datos, por lo que fue necesario emplear *targets*, marcas en forma de pequeños círculos adhesivos que, de acuerdo con la literatura,²² al ser fácilmente detectados por el *software* del escáner, optimizan el proceso y posibilitan el ensamble de imágenes automático. Sin embargo, es importante considerar que “esta aproximación con *targets* puede comprometer la lectura de los datos en superficie”,²³ o bien alterar la propia superficie del artefacto, por lo que es preferible que su aplicación se lleve a cabo en fondos

Estos factores, sin embargo, deben contraponerse con los beneficios:

- La tecnología de escáner tridimensional por luz blanca representa una alternativa no destructiva, inocua, de alta precisión y de gran factibilidad para la documentación de bienes culturales arqueológicos de amplia diversidad tanto formal, material y dimensional como colorimétrica
- Las mejores condiciones de captura de datos se presentan en bienes con tamaños mayores a 5 cm y menores a 30 cm, con geometría abierta, volumen considerable e intensidad en relieve y textura
- Puesto que muchos de los materiales arqueológicos han experimentado cambios materiales, incluidas la deposición de otros materiales y la transformación, algunos artefactos que, en su estado original podrían presentar problemas de reflexión de la luz blanca, son susceptibles de lectura
- Además de su portabilidad, las imágenes resultantes representan un gran recurso de documentación o análisis del bien sin necesidad de que este sea manipulado o esté presente, lo cual ofrece recursos de investigación de gran desempeño que pueden ser compartidos y observados, prácticamente de forma infinita y en diversos grados de detalle, por los diversos profesionales involucrados, lo que, a su vez, facilita la intervención interdisciplinaria
- La digitalización da oportunidades de acoplamiento con otras técnicas de análisis de imagen, lo que abre nuevos caminos de investigación a futuro

22 Wolfgang Böhler y Andreas Marbs, “3D scanning instruments”, *Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*, 2002, pp. 9-18, documento electrónico disponible en <http://www.i3mainz.fh-mainz.de/publicat/korfu/p05_Boehler.pdf>, consultado en agosto del 2016.

23 Melvin J. Wachowiak y Basiliki Vicky Karas, *op. cit.*

CONCLUSIONES

La aplicación de tecnología de digitalización tridimensional está aún en ciernes en el campo de la conservación-restauración en México, lo que significa, por un lado, una trayectoria de aprendizaje, con los consecuentes logros, desafíos y errores, y, por el otro, un escenario de múltiples oportunidades. Este ejercicio inicial permitió hacer una primera aproximación metodológica al uso de un escáner portátil de luz blanca en el ámbito de la conservación arqueológica, el cual plantea retos a la documentación debido a su diversidad formal, variabilidad material y diferencias dimensionales. Es previsible que los futuros incrementos de experiencia, aumento de pericia y desarrollo de la creatividad técnica permitan en un futuro subsanar las limitaciones a la par de mejorar los resultados obtenidos. Es justamente el derrotero de lo logrado por lo que vale la pena plantear algunas reflexiones finales.

Para empezar, se ha de señalar que esta experiencia ha permitido un gran avance en torno de la documentación de la totalidad de artefactos y ecofactos que conforman el complejo funerario El Salitre, iniciativa multidisciplinar que con este ejercicio ha hecho innovaciones, al incorporar el empleo de tecnologías recientes en un proceso integrado de conservación arqueológica. En cierto sentido, es deseable que el uso de esta tecnología pueda ampliarse a otras áreas de la conservación-restauración de bienes culturales muebles, tanto prehispánicos e históricos como modernos, para, con ello, no solo ampliar la evaluación de su desempeño y utilidad sino, además, impulsar la formación de bases de datos institucionales que sirvan de detonante para propugnar por una documentación con fines de investigación. Así, es deseable que el INAH se sume a esfuerzos ya realizados por otras instituciones líderes en el mundo que desde hace más de un decenio han integrado la tecnología de escaneo tridimensional a labores cotidianas de registro, investigación, evaluación de intervenciones anteriores y monitoreo en el campo mencionado. Adicionalmente, hay que considerar las posibilidades que brinda la digitalización tridimensional en materia de difusión. Todos estos ámbitos abren un panorama, antes no previsto, de desarrollo para el proyecto aquí expuesto, ya que facilitan la comparación de materiales con los procedentes de otros contextos, así como la reconstrucción virtual del complejo ritual, empresa que vislumbra escenarios de divulgación en los que la arqueología se posicione como factor central de educación.

BIBLIOGRAFÍA

Abate, D., et al., "3D modeling and remote rendering technique of a high definition cultural heritage artefact", *Procedia Computer Science*, núm. 3, 2011, pp. 848-852, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2010.12.139>>, consultado en julio del 2017.

Apollonio, Fabrizio I., Marco Gaiani y Benedetto Benedetti, "3D reality-based artefact models for the management of archaeological sites using 3D GIS: a framework starting from the case study of the Pompeii archaeological area", *Journal of Archaeological Science*, núm. 39, 2012, pp. 1271-1287, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2011.12.034>>, consultado en julio del 2017.

Arbace, Lucia, et al., "Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented Terracotta statue", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 14, 2013, pp. 332-345, documento electrónico disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.06.008>>, consultado en julio del 2017.

Bernardini, F. y H. Rushmeier, "The 3D model acquisition pipeline", *Computer Graphics Forum*, núm. 21, 2002, pp. 149-172, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1111/1467-8659.00574>>, consultado en julio del 2017.

Böhler, Wolfgang y Andreas Marbs, "3D scanning instruments", *Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*, 2002, pp. 9-18, documento electrónico disponible en <http://www.i3mainz.fh-mainz.de/publicat/korfu/p05_Boehler.pdf>, consultado en julio del 2017.

Bruno, Fabio et al., "From 3D reconstruction to virtual reality: a complete methodology for digital archaeological exhibition", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 11, 2010, p. 42-49, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2009.02.006>>, consultado en julio del 2017.

Cobean, Robert, Elizabeth Jiménez y Alba Guadalupe Mastache, *Tula*, México, El Colegio de México, Fondo de Cultura Económica, 2012.

Davis, Nigel, "Tula: realidad, mito, símbolo", en Eduardo Matos Moctezuma (coord.), *Proyecto Tula* (primera parte), México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1988, pp. 109-144.

Dawson, Peter C. *et al.*, "Application of 3D laser scanning to the preservation of Fort Conger, a historic polar research base on Northern Ellesmere Island, Arctic Canada", *Arctic*, núm. 66, 2013, pp.147-158.

Dik, Joris *et al.*, "Three-dimensional imaging of paint layers and paint substructures with synchrotron radiation computed M-laminology", *Journal for the American Institute for Conservation*, 2015.

Equihua, Juan Carlos, *Informe final. Rescate arqueológico El Salitre-Tula*, mecanoscrito, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2007.

Espinosa-Pesqueira, Manuel e Isabel Medina-González, *Análisis científico-arqueométrico de artefactos y pigmentos del entierro arqueológico "El Salitre"*, Hidalgo, México, 8.ª Reunión de la Red Temática Promep y Foro de la Red Temática Promep para la conservación de materiales de interés histórico y artístico, organizado por la doctora Ma. del Rosario Domínguez Carrasco, Centro de Investigaciones Históricas y Sociales-Universidad Autónoma de Campeche, 2014.

Flores Mora, Ángel, "Tecnología escáner láser", *Intervención. Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, núm. 2 (México, Instituto Nacional de Antropología e Historia), 2009.

Go!SCAN (página web), <www.goscan3d.com>, 2015.

Healan, Dean, "Informe preliminar de las investigaciones en Tula, Hidalgo, por la Universidad de Tulane", 1980-1981, en Dolores Soto Arechavaleta (ed.), *Nuevos enfoques en el estudio de la lítica*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1990, pp. 297-330.

Kuzminsky, Susan C. y Megan S. Gardiner, "Three-dimensional laser scanning: potential uses for museum conservation and scientific research", *Journal of Archaeological Science*, núm. 39, 2012, pp. 2744-2751, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.04.020>>, consultado en julio del 2017.

Lambers, Karsten *et al.*, "Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period Site of Pinchango Alto, Palpa, Peru", *Journal of Archaeological Science*, núm. 34, 2007, pp. 1702-1712. documento disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2006.12.008>>, consultado en julio del 2017.

Lapp, Eric y Joe Nicoli, "Exploring 3D modeling, fingerprint extraction, and other scanning applications for ancient clay oil lamps", *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, núm. 1, 2014, pp. 34-44, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2013.12.001>>, consultado en julio del 2017.

Núñez, Ma. Amparo, Felipe Buill y Manel Edo, "3D model of the Can Sadurní cave", *Journal of Archaeological Science*, núm. 40, 2013, pp. 4420-4428, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.006>>, consultado en julio del 2017.

Medina-González, Isabel, *Diagnóstico y propuesta de conservación de dos anillos metálicos procedentes del rescate arqueológico El Salitre, estado de Hidalgo*, mecanoescrito, México, Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural-Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2004.

Medina-González, Isabel, "La conservación integrada de dos anillos metálicos de origen prehispánico: el caso del Proyecto de El Salitre, Tula, Hidalgo", *Notas Corrosivas* (México, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía), 2011, pp. 5-28.

Medina-González, Isabel y Manuel Espinosa Pesqueira, *Los colores de la muerte: resultados de un estudio científico sobre la policromía del complejo funerario de El Salitre, Tula, Hidalgo*, cartel presentado en el IV Congreso Latinoamericano de Arqueometría, México, 2014.

Medina-González, Isabel, *et al.*, *Informe final del proyecto integrado de investigación y conservación del complejo funerario El Salitre*, México, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia (en proceso).

Montemayor, Felipe, *Informe general sobre los entierros encontrados en la cuarta temporada de exploraciones arqueológicas en Tula, en el lugar denominado "El Salitre"*, septiembre de 1943, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1943.

Mora Flores, Ángel, "Tecnología escáner láser", *Intervención. Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, núm. 2 (México, Instituto Nacional de Antropología e Historia), 2009.

Núñez, Ma. Amparo, Felipe Buill y Manel Edo, "3D model of the Can Sadurní cave", *Journal of Archaeological Science*, núm. 40, 2013, pp. 4420-4428, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.006>>, consultado en julio del 2017.

Noguez, Xavier, "La zona del altiplano central en el Posclásico: la etapa tolteca", en Linda Manzanilla y Leonardo López-Luján (coords.), *Historia antigua de México*, II, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1995, pp. 189-224.

Park, Hee-Kyung, Jin-Woo Chung y Hong-Seop Kho, "Use of hand-held laser scanning in the assessment of craniometry", *Forensic Science International*, núm. 160, 2006, pp. 200-206, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2005.10.007>>, consultado en julio del 2017.

Pavlidis, George *et al.*, "Methods for 3D digitization of cultural heritage", en *Journal of Cultural Heritage*, núm. 8, 2007, pp. 93-98, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2006.10.007>>, consultado en julio del 2017.

Pesci, Arianna *et al.*, "Laser scanning and digital imaging for the investigation of an ancient building: Palazzo d'Accursio study case (Bologna, Italy)", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 13, 2012, pp. 215-220, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2011.09.004>>, consultado en julio del 2017.

Pieraccini, Massimiliano, Gabriele Guidi y Carlo Atzeni, "3D digitizing of cultural heritage", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 2, 2001, pp. 63-70, documento electrónico disponible en <[http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074\(01\)01108-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074(01)01108-6)>, consultado en julio del 2017.

Rüther, Heinz *et al.*, "Laser scanning for conservation and research of African cultural heritage sites: the case study of Wonderwerk Cave, South Africa", *Journal of Archaeological Science*, núm. 36, 2009, pp. 1847-1856, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.04.012>>, consultado en julio del 2017.

Simon Chane, Camille *et al.*, "Integration of 3D and multispectral data for cultural heritage applications: survey and perspectives", *Image and Vision Computing*, núm. 31, 2013, pp. 91-102, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.imavis.2012.10.006>>, consultado en julio del 2017.

Sodi, Demetrio, "Consideraciones sobre el origen del Toltecatoytl", *Estudios de Cultura Náhuatl*, 1962, núm. 3, pp. 55-73.

Wachowiak, Melvin y Basiliki Vicky Karas, "3D scanning and replication for museum and cultural heritage application", *Journal for the American Institute of Conservation*, núm. 48, 2015, pp. 141-158.

Zhang, Xi, *et al.*, "Process for the 3D virtual reconstruction of a microcultural heritage artifact obtained by synchrotron radiation CT technology using open source and free software", *Journal of Cultural Heritage*, núm. 13, 2012, pp. 221-225, documento electrónico disponible en <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2011.08.004>>, consultado en julio del 2017.