



COLECCIÓN CONOCIMIENTO CONTEMPORÁNEO

Innovaciones metodológicas con TIC en educación

Coordinadoras
Olga Buzón-García
Carmen Romero-García
Amparo Verdú Vázquez

Dykinson, S.L.

INNOVACIONES METODOLÓGICAS CON TIC EN EDUCACIÓN

Coordinadores

Olga Buzón-García
Carmen Romero-García
Amparo Verdú Vázquez

Dykinson, S.L.

2021

INNOVACIONES METODOLÓGICAS CON TIC EN EDUCACIÓN

Diseño de cubierta y maquetación: Francisco Anaya Benítez

© de los textos: los autores

© de la presente edición: Dykinson S.L.

Madrid - 2021

N.º 3 de la colección Conocimiento Contemporáneo

1ª edición, 2021

ISBN 978-84-1377-319-3

NOTA EDITORIAL: Las opiniones y contenidos publicados en esta obra son de responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de Dykinson S.L ni de los editores o coordinadores de la publicación; asimismo, los autores se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado en otro lugar.

NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA EPIGRAFÍA Y LA NUMISMÁTICA. UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SU INCLUSIÓN EN LA INVESTIGACIÓN Y EN LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA

D. SANTIAGO SÁNCHEZ DE LA PARRA-PÉREZ¹⁵⁷

D. ALBERTO MARTÍN ESQUIVEL¹⁵⁸

DRA. CRUCES BLÁZQUEZ CERRATO¹⁵⁹

Universidad de Salamanca, España

RESUMEN

La aplicación de Nuevas Tecnologías, como la fotogrametría digital *Structure from Motion (SfM)*, los métodos fotográficos computacionales como el *Reflectance Transformation Imaging (RTI)* y la impresión 3D de bajo coste por *Fused Deposition Modeling (FDM)*, permite documentar y estudiar de forma precisa los aspectos materiales de las inscripciones y del material numismático. Además de optimizar el proceso de análisis, el correcto uso de estas tecnologías amplía los resultados científicos obtenidos, involucrando en mayor medida a todo tipo de usuarios al permitir manipular los modelos tanto de forma digital como físicamente. El principal objetivo de este trabajo es proponer una metodología que implemente el uso de las Nuevas Tecnologías en la investigación epigráfica y numismática, además de difundir el proceso de trabajo entre el alumnado universitario. La comparación de los resultados logrados, entre alumnado e investigadores, mediante análisis de fotografías y dibujos 2D de las piezas, con los derivados de las Nuevas Tecnologías ha evidenciado la conveniencia e incluso, en ocasiones, la necesidad de emplear estas últimas, especialmente para análisis complejos.

¹⁵⁷ Investigador Predoctoral JCYL cofinanciado por el Fondos Social Europeo (2019-2023). Orden EDU/556/2019. Dpto. de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. Grupo de Investigación Reconocido HESPERIA. Universidad de Salamanca. Proyecto de Investigación HAR2017-85829. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6996-7688>.

¹⁵⁸ Profesor Asociado de Arqueología. Dpto. de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. Grupo de Investigación Reconocido ATAEMHIS. Universidad de Salamanca. Proyecto de Investigación HAR2017-85829. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8921-8556>.

¹⁵⁹ Profesora Titular de Arqueología. Dpto. de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. Grupo de Investigación Reconocido HESPERIA. Universidad de Salamanca. Proyecto de Investigación HAR2017-85829. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8296-7295>.

Por otro lado, la explicación de estas técnicas permite al alumnado una mayor profesionalización y un mejor entendimiento de la materia.

PALABRAS CLAVE

Arqueología, Epigrafía, Numismática, Fotogrametría, Reflectance Transformation Imaging (RTI), Impresión 3D.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de Epigrafía y Numismática tradicionalmente se han abordado desde una metodología que implicaba el análisis morfológico de cada pieza a partir de su observación visual. En muchos casos, este procedimiento ha dificultado su estudio, debido a las limitaciones que tal método de trabajo conlleva. Así, por ejemplo, un estado de conservación deficiente, frecuente tanto en inscripciones como en monedas antiguas, puede dificultar notablemente la transcripción del texto y la identificación de los motivos figurativos presentes, sobre todo para los no especialistas. A su vez, esa situación dificulta el acceso al contenido y la valoración de las piezas y hace que las posibilidades de interpretación apoyadas, por ejemplo, en la detección de variantes menores resulten mucho más complejas.

La progresiva evolución de las Nuevas Tecnologías, en un primer momento muy costosas y poco accesibles económicamente, ha conllevado un conocimiento y utilización más generalizados. En los últimos años, esto ha facilitado su adopción e inclusión en el proceso de investigación de las disciplinas históricas y arqueológicas. En los campos de la Epigrafía y la Numismática, por ejemplo, cada vez son más abundantes las publicaciones que utilizan en el aparato gráfico modelos 3D fotogramétricos para presentar y restituir de la manera más fidedigna posible las piezas de estudio y también para apoyar la argumentación (por ejemplo, Caro, 2016; Andreu y Serrano, 2019). La evolución en la captura de imágenes computerizadas ha facilitado optimizar su procesamiento, de manera que el surgimiento de técnicas como el *Reflectance Transformation Imaging* (RTI) nos permite, por ejemplo, conocer y observar detalles del material numismático no perceptibles a simple vista (por ejemplo, Kotoula y Kyranoudi, 2013; Hess *et al.*, 2018). Por otro lado,

la impresión en 3D de los modelos digitales optimiza el proceso de restauración de las piezas originales y la difusión de los resultados de investigación de manera interactiva, tanto en las aulas como entre un público más amplio, ofreciendo al usuario la posibilidad de manipular réplicas exactas de epígrafes y de material numismático original.

Ante este panorama, organizamos en la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de Salamanca el Seminario de Investigación titulado “Nuevos Enfoques en Epigrafía Latina” (Fig.1), celebrado los días 9 y 10 de diciembre de 2019. Gracias al apoyo de varias instituciones y departamentos universitarios¹⁶⁰, el evento reunió a 7 especialistas tanto en Epigrafía Latina como en el uso y aplicación de las Nuevas Tecnologías con una treintena de asistentes. El Seminario se organizó en tres sesiones que dividieron el contenido según el tipo de estudios y las técnicas a explicar. La primera sesión, titulada “Cómo estudiar una inscripción”, ofreció una visión global sobre los estudios de corte más tradicional en la investigación epigráfica y numismática, además de aportar una reflexión sobre el empleo de las inscripciones y monedas como fuente histórica. A continuación, durante la sesión “Las tecnologías aplicadas a la lectura de una inscripción”, se explicaron a los asistentes dos técnicas fotográficas, *Morphological Residual Modelling* (MRM) y *Reflectance Transformation Imaging* (RTI) que, aplicadas al material epigráfico y numismático, permiten al usuario leer y analizar partes *a priori* perdidas de las piezas, como letras o motivos figurativos degradados. Por último, en la tercera sesión titulada “Las tecnologías aplicadas a la difusión y exhibición de las inscripciones”, se presentaron diferentes métodos y técnicas que facilitan el estudio de las piezas y la divulgación los resultados: es el caso de la creación de modelos 3D digitales a partir de la fotogrametría digital *Structure from Motion* (SfM) y su posterior impresión en 3D gracias al *Fused Deposition Modelling* (FDM).

¹⁶⁰ El Seminario disfrutó del apoyo institucional y económico de la *Association Internationale de Epigraphie Greque et Latine* (AIEGL), del *Programa de Doctorado en Prehistoria y Ciencias de la Antigüedad* de la Universidad de Salamanca, del Dpto. de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología y del *Máster en Estudios Avanzados e Investigación en Historia. Sociedades, Poderes e Identidades* de esta misma universidad.

Los resultados de este Seminario constituyen una decisiva experiencia previa que ha proporcionado la base sólida para la propuesta metodológica que aquí presentamos.

Figura 1: Detalle de una de las sesiones del seminario



Fuente: Sonia Díaz-Navarro

1. OBJETIVOS

Para la reunión científica celebrada en diciembre de 2019 marcamos tres objetivos principales: 1) definir un estado de la cuestión sobre los últimos avances en la aplicación de las Nuevas Tecnologías a la Epigrafía y la Numismática; 2) comparar los resultados de la aplicación de la metodología tradicional con los obtenidos mediante el uso de estas técnicas y 3) difundir entre la comunidad universitaria, tanto alumnado como profesorado, las posibles opciones de trabajo creando, a su vez, un ambiente propicio a la retroalimentación entre diferentes escuelas e investigadores.

Después de haber materializado ese proyecto de definición del punto en el que actualmente se encuentran los estudios epigráficos y numismáticos, la buena acogida del citado seminario nos ha impulsado a establecer unas guías/pautas de actuación con las que perseguir la consecución de los dos últimos objetivos. Para ello, hemos desarrollado una nueva propuesta metodológica que parte del interés en mostrar los puntos fuertes de tres de las tecnologías más útiles en la investigación epigráfica y numismática: la creación de modelos 3D digitales a partir de la fotogrametría digital SfM y el análisis del soporte epigráfico y numismático por medio del *Reflectance Transformation Imaging*. A ello se suma la difusión

inclusiva y global de los resultados por medio de réplicas exactas de inscripciones y material numismático fabricadas a bajo coste gracias a la Impresión 3D FDM.

2. METODOLOGÍA

Para la consecución de nuestros objetivos, hemos planteado la inclusión en la docencia universitaria del Grado en Historia de la Universidad de Salamanca, concretamente en las asignaturas Epigrafía y Numismática¹⁶¹ y Arqueología Hispanorromana¹⁶², la explicación de estas tres tecnologías. Para ello, tenemos previsto solicitar un Proyecto de Innovación Docente (PID) a desarrollar durante el curso académico 2021/2022.

Además, tras la comparación de los resultados obtenidos a partir de las técnicas tradicionales y de las Nuevas Tecnologías, proponemos su aplicación en otros proyectos de investigación y en la difusión de los resultados, con el fin de precisar aún más en la descripción y análisis de los soportes epigráficos y numismáticos; realizar confirmaciones de lectura de los textos perdidos o degradados; y además optimizar el aparato gráfico y la documentación del objeto arqueológico. Para lograr estos nuevos objetivos, proyectamos presentar estas técnicas y sus resultados en seminarios y coloquios de índole similar al organizado previamente en la Universidad de Salamanca, cuya celebración esperamos que adquiera un carácter periódico. De esta manera, investigadores y docentes conocerán y se familiarizarán con unas técnicas que podrán aplicar directamente en sus investigaciones. También, creemos que este futuro Proyecto de Innovación Docente (PID) permitirá al alumnado adquirir una serie de habilidades relacionadas con las Nuevas Tecnologías y lograr, si no su dominio, el conocimiento de las interesantes posibilidades que ofrecen. Así, el alumno contará con una posibilidad más de mejorar

¹⁶¹ Asignatura de carácter optativo del segundo semestre del tercer curso del Grado en Historia de la Universidad de Salamanca. Código 107723. Plan 2015. 6.00 ECTS.

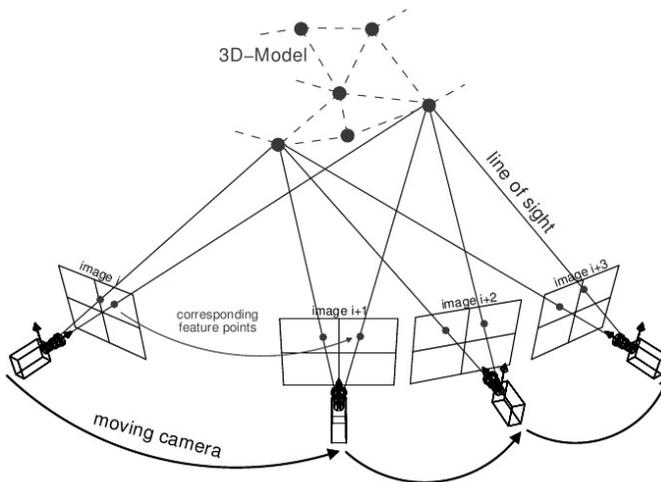
¹⁶² Asignatura de carácter optativo del primer semestre del cuarto curso del Grado en Historia de la Universidad de Salamanca. Código 107744. Plan 2015. 6.00 ECTS.

su perfil curricular en un momento en el que la especialización es cada vez más exigente.

2.1. FOTOGAMETRÍA DIGITAL *STRUCTURE FROM MOTION*

Tal y como sucede en la fotogrametría tradicional, el *Structure from Motion* (SfM) emplea el solapamiento de imágenes de un objeto o situación espacial tomadas desde múltiples puntos de vista (Micheletti *et al.*, 2015) para obtener un modelo digital en tres dimensiones. Sin embargo, el usuario no necesita predefinir un conjunto de puntos visibles en posiciones tridimensionales conocidas (Westoby *et al.*, 2012), sino que el *software* determina automáticamente la geometría interna de la cámara, su posición y orientación en el espacio en el proceso de solapamiento de las fotografías.

Figura 2: Infografía de la creación de un modelo 3D fotogramétrico SfM

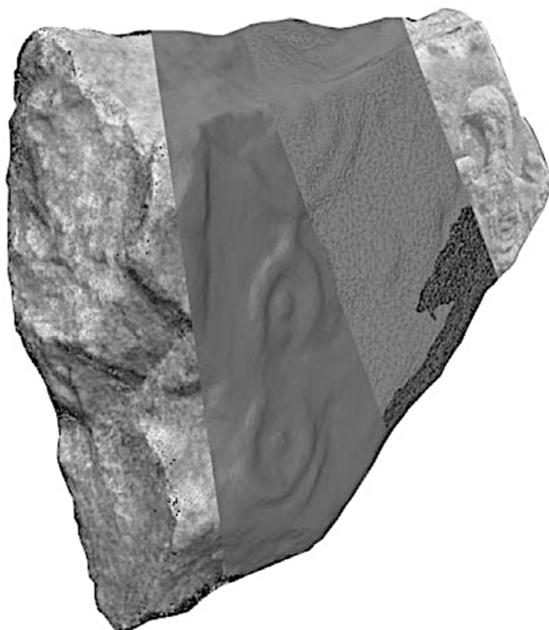


Fuente: (Sweeney, 2016)

En resumen, la fotogrametría digital SfM consiste en una serie de fotografías de un objeto tomadas desde diferentes ángulos (Fig. 2). Tras ser procesadas por un *software*, éste automatiza su posición en el espacio y solapa los puntos en común de cada una de ellas, creando una serie de nubes de puntos (Pereira Uzal, 2016). Posteriormente éstas se unen en una malla tridimensional (*mesh*) formada por pequeños polígonos que finalmente revelan la forma del objeto. Con un número de fotografías

suficiente que permita que el *software* reconozca toda la superficie del objeto y, gracias al solapamiento de los puntos en común, se obtiene como resultado un modelo tridimensional compuesto tanto por la geometría del objeto, es decir su morfología original, como por una textura que aporta realismo al modelo (Fig. 3). Posteriormente, el usuario puede escalar el modelo a partir de unos puntos previamente medidos en el objeto real, de manera que la toma de las dimensiones de cualquier parte del modelo digital resulte idéntica al original.

Figura 3: Infografía de un modelo 3D fotogramétrico de un relieve militar de *Asturica Augusta* (Astorga, España). Comparación de la nube de puntos, geometría, malla tridimensional y textura



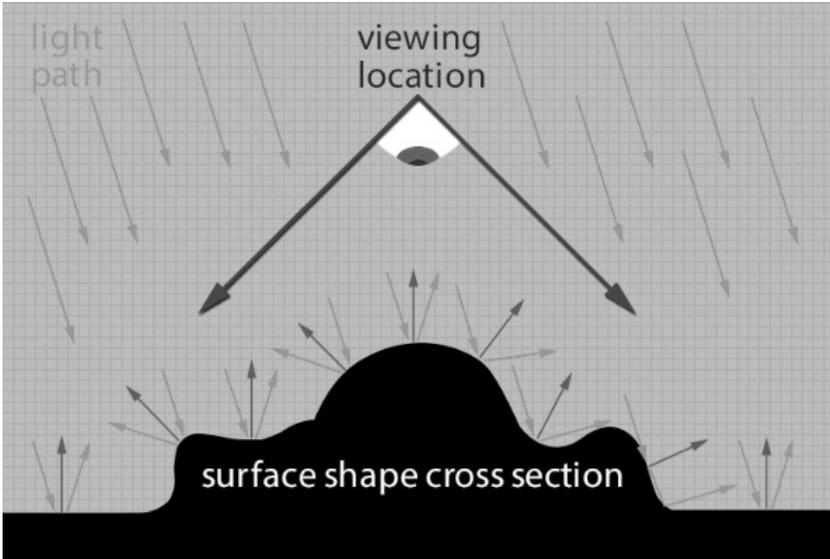
Fuente: Santiago Sánchez de la Parra-Pérez

2.2. REFLECTANCE TRANSFORMATION IMAGING (RTI)

Reflectance Transformation Imaging (RTI) es un método fotográfico computacional derivado de los *Polynomial Texture Maps* (PTMs), fase temprana de una tecnología que analiza y procesa la información matemática de las normales (*normals*) de un objeto a partir de una serie de fotografías (Malzbender *et al.*, 2001; Macdonald y Robson, 2010). Es

decir, este tipo de tecnologías calcula matemáticamente la dirección perpendicular (*normals*) de cada punto de una superficie fotografiada (Fig. 4). Además, el RTI almacena y procesa la dirección del foco de luz que ilumina el objeto y la dirección en la que ésta se refleja en cada parte (Mudge *et al.*, 2005).

Figura 4: Trayectoria de la luz; posición de visualización y perfil de la superficie



Fuente: (Cultural Heritage Imaging, 2013, fig. 2)

La cadena operativa del RTI consiste en la captura con una cámara fija de diferentes imágenes de un mismo objeto, en las que la luz se proyecta en cada disparo desde una dirección diferente (Cultural Heritage Imaging, 2013). Posteriormente, esas fotografías son procesadas por el *software* RTIBuilder que codifica la información de las *normals* en cada píxel. El archivo PTM resultante se asemeja a una imagen bidimensional en 2D, pero que permite analizar la superficie del objeto mediante técnicas 3D de re-iluminación interactiva a partir del visor RTIViewer (Cultural Heritage Imaging, 2013). De esta manera, y aplicando una serie de filtros que mejoran matemáticamente los atributos de la superficie, el usuario puede examinar con mayor detalle el objeto, logrando

observar partes aparentemente perdidas, degradadas o imperceptibles, no visibles mediante un examen empírico directo (Fig. 5).

Figura 5: Comparativa en el anverso y reverso de una misma moneda (RIC III, p. 162, n.º 1117) entre una vista *Default* y el *Rendering mode* con el filtro *Specular Enhancement* del visor RTIViewer 1.1.0



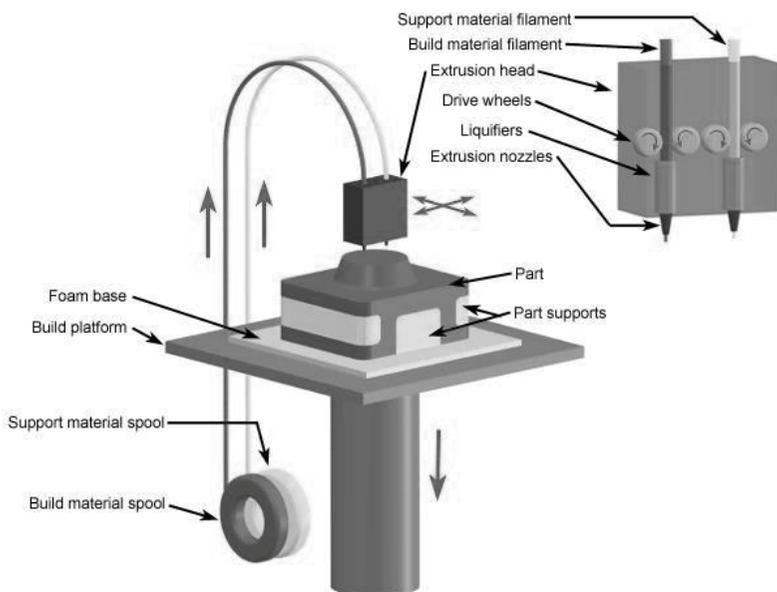
Fuente: Alberto Martín Esquivel

2.3. IMPRESIÓN 3D *FUSED DEPOSITION MODELLING* O *FUSED FILAMENT FABRICATION*

La impresión 3D FDM/FFF es una de las muchas técnicas de fabricación aditiva o de prototipado rápido que surgieron en los años 80 del siglo XX (Campbell *et al.*, 2012). Esta tecnología se democratizó a comienzos del siglo XXI, cuando las primeras patentes¹⁶³ comenzaron a liberarse y el coste de las máquinas se redujo considerablemente. La impresión 3D permite crear objetos 3D físicos a partir de la deposición de capas sucesivas de un filamento termoplástico fundido (Fig. 6).

¹⁶³ Scott Crump, fundador de Stratasys Ltd., adquirió la primera patente para el *Fused Deposition Modeling* (Savini y Savini, 2015).

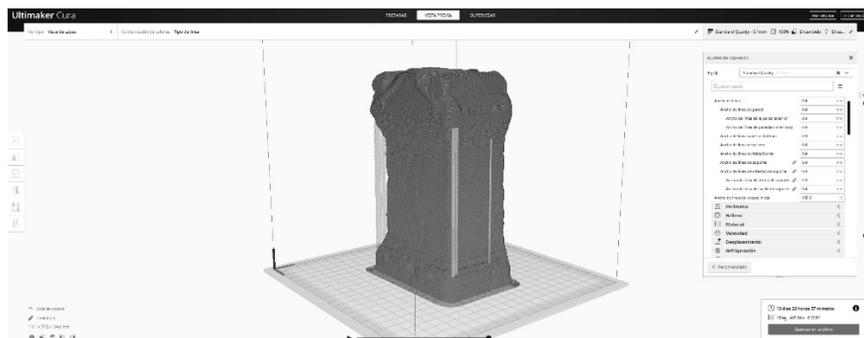
Figura 6: Diagrama de la impresión de un objeto físico 3D a partir de la deposición de capas de un termoplástico fundido



Fuente: (Todo-3D, 2017)

En este caso, el usuario debe partir de un modelo 3D digital similar al producido gracias a la fotogrametría digital SfM. La geometría del modelo, es decir la superficie cerrada creada a partir de polígonos, se procesa en un laminador (*slicer*). Se trata de un *software* especializado que permite al usuario establecer una serie de parámetros (altura de capa, velocidad de impresión, temperatura, etc.) que afectarán a la calidad final de la impresión y que dividirá el modelo digital en una serie de capas que posteriormente producirá la impresora 3D. Tras la preparación del modelo digital, el laminador crea un archivo con información codificada que posibilita a la máquina imprimir el objeto con los parámetros que el usuario ha establecido previamente (Fig. 7).

Figura 7: Detalle de la preparación de un modelo 3D para su impresión en el *licer Ultimaker Cura* 4.8.0



Fuente: Santiago Sánchez de la Parra-Pérez

3. DISCUSIÓN

La situación de crisis sanitaria que vivimos desde marzo de 2020, debido al virus SARS-CoV-2, ha provocado que el habitual desarrollo de la docencia universitaria se viera interrumpido y debiera adaptarse a las nuevas circunstancias. Además de los periodos de confinamiento domiciliario que obligaron a las instituciones universitarias a recurrir a la docencia *on-line*, las debidas precauciones sanitarias han imposibilitado ciertas actividades complementarias a la materia teórica que se imparte en las aulas. Así, por ejemplo, las salidas de campo que permitían al alumnado visitar yacimientos arqueológicos e instituciones museísticas han tenido que reducirse al mínimo, si no cancelarse, con la intención de no arriesgar la salud de todos. Además, las clases presenciales en las aulas, a menudo, se nutren de explicaciones y de actividades prácticas, como el análisis de ciertas piezas. El empleo de colecciones de referencia es clave en el correcto desarrollo de un alumnado interesado por conocer la cultura material de las sociedades del pasado y más concretamente, de las sociedades pertenecientes al periodo de la Historia Antigua, las cuales se estudian en las asignaturas de Epigrafía y Numismática y Arqueología Hispanorromana¹⁶⁴. Debido al alto riesgo de contagio,

¹⁶⁴ En nuestro caso concreto, inscripciones latinas y monedas suponen una gran parte de esta cultura material, dado que ambas fueron prolijamente producidas por las sociedades antiguas.

durante los cursos 2019/2020 y 2020/2021 el profesorado no ha podido hacer uso de los citados materiales de forma física, mermando así su capacidad para fomentar un aprendizaje activo en el alumnado.

Está demostrado que la interacción del alumno durante las clases y el proceso de aprendizaje provoca un mejor entendimiento e interés por la materia que estudia (Pollishuke y Schwartz, 2005; García García *et al.*, 2016; Cerdán, 2020), de manera que el profesorado debe adaptarse a esta nueva situación. Creemos que el empleo de las Nuevas Tecnologías en las aulas podría solventar algunos de estos obstáculos y garantizar que el alumnado se convierta en un agente activo durante el proceso de aprendizaje, promoviendo su interacción con la cultura material a partir de una serie de herramientas y técnicas que minimizan casi por completo el riesgo de contagio.

Como apoyo a la explicación teórica, el empleo de objetos tridimensionales fomenta un mayor interés entre el alumnado que el uso de imágenes en 2D (Ford y Minshall, 2019). En este sentido, el empleo de réplicas exactas en tres dimensiones, como las impresas por medio del FDM/FFF, permite que el estudiante manipule las piezas sin el riesgo de dañar los originales durante el proceso de aprendizaje. Lo mismo sucede con los modelos digitales fotogramétricos que, además, posibilita al alumnado consultar e, incluso, manipular digitalmente las piezas desde fuera del aula. En este sentido, repositorios digitales de modelos 3D, como los ofrecidos desde *Sketchfab*, facilitan la creación de auténticas colecciones de referencia en la red, de manera que el usuario puede interactuar con un modelo 3D preciso de un bien patrimonial con su ordenador personal y desde su casa. A esto, debemos sumar que muchas de estos repositorios digitales permiten la descarga gratuita de los modelos, de manera que, tras su obtención, no es necesario disponer de conexión a internet. Podemos poner como ejemplo los más de cinco proyectos de innovación¹⁶⁵ docente consecutivos dirigidos por J.-D. Rodríguez Martín, cuyo principal objetivo es el estudio interdisciplinar de las *leges* municipales y coloniales que forman parte de la colección del

¹⁶⁵ Proyectos de Innovación Docente UCM, dirigidos por J.-D. Rodríguez Martín en colaboración con el Museo Arqueológico Nacional: UCM 23/2015; 283/2016; 226/2017; 40/2018 y 354/2019.

Museo Arqueológico Nacional (Rodríguez Martín *et al.*, 2020). Para ello, el proyecto cuenta con un repositorio digital en *Sketchfab*¹⁶⁶ donde comparten los modelos 3D fotogramétricos de cada una de las tablas bronceas de las diferentes *leges*. Fuera de España, destaca *The Digital Epigraphy & Archaeology Project*¹⁶⁷ (DEA) del *Digital Worlds Institute* y el *Department of Classics* de la *University of Florida* (Estados Unidos), cuyo objetivo es desarrollar nuevas herramientas *open access* relacionadas principalmente con la Arqueología y el Mundo Clásico. Entre las actividades que han llevado a cabo, debemos destacar la digitalización e impresión en 3D de inscripciones latinas (Digital Epigraphy and Archaeology Project, 2013) o la creación del *Digital Epigraphy Toolbox*, que facilita la preservación, estudio y difusión de las inscripciones antiguas (Barmpoutis, 2012; Bozia *et al.*, 2014).

Algo similar sucede con el RTI. Tras la toma de fotografías, el alumnado puede re-iluminar cada pieza con su ordenador personal mientras es guiado por el docente a partir de reuniones de seguimiento y tutorías destinadas a explicar cada parte del soporte epigráfico y numismático.

Además, la aplicación de estas Nuevas Tecnologías en ámbitos educativos más amplios permitirá difundir los resultados de las últimas investigaciones a todo el público, no sólo en las aulas universitarias. En el aspecto curricular, el profesorado universitario también debe desarrollar de manera constante su faceta investigadora pero generalmente los resultados obtenidos aparecen en los medios de comunicación de manera marginal en el ámbito de las Humanidades. Creemos que el empleo de estas Nuevas Tecnologías también puede fomentar el desarrollo de otros canales de comunicación que permitan difundir los resultados de estas investigaciones al gran público.

Nos referimos, de nuevo, a los repositorios digitales de modelos 3D. Cada vez son más las instituciones museísticas, departamentos universitarios y yacimientos arqueológicos que recurren a este tipo de herramientas web para difundir sus resultados. Por ejemplo, el Museo

¹⁶⁶ Vide <https://bit.ly/2LRbCHp>.

¹⁶⁷ Vide <https://bit.ly/39CSLYC>.

Arqueológico Nacional cuenta ya con 30 modelos digitales en *Sketchfab* de cerámicas griegas y romanas¹⁶⁸, de restos escultóricos notables, como la Bicha de Balazote¹⁶⁹, o bien de ejemplares de sus propias colecciones numismáticas¹⁷⁰ y epigráficas¹⁷¹. En este último caso, queremos destacar el proyecto científico *Epigraphia 3D*, financiado por la FECYT y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y dirigido por M. Ramírez Sánchez (Ramírez-Sánchez, *et al.*, 2014 y 2015). El objetivo principal de este proyecto fue digitalizar algunas de las inscripciones latinas más importantes tanto del Museo Arqueológico Nacional como del Museo Nacional de Arte Romano de Mérida, creando un repositorio digital para cada museo en la web, tanto para ordenadores como para dispositivos móviles.

También tiene gran interés la colección digital¹⁷² de inscripciones procedentes del yacimiento hispanorromano de Los Bañales (Uncastillo, Zaragoza). Bajo la dirección de J. Andreu Pintado, se ha creado una colección que cuenta con 51 modelos, de los cuales 24 son epígrafes latinos hallados durante el proceso de excavación (Andreu, 2016). Por último, también podemos citar el proyecto de innovación científica *Epigraphica 3.0*, dirigido por D. Espinosa Espinosa cuyo principal objetivo ha sido la creación de un *corpus* digital compartido en la web¹⁷³ de las inscripciones romanas de la provincia de Ourense (Espinosa y Carrero, 2018). Todos estos ejemplos, además de permitir al usuario consultar colecciones arqueológicas e interactuar con ellas, son un valioso apoyo a los investigadores y divulgadores, ya que este tipo de modelos 3D pueden utilizarse como documento gráfico de apoyo a las explicaciones teóricas clásicas de jornadas, congresos y conferencias. De esta manera, el

¹⁶⁸ Vide <https://bit.ly/3idZVXj>.

¹⁶⁹ Vide <https://bit.ly/3ssHKln>.

¹⁷⁰ Vide <https://bit.ly/3svAiFZ>.

¹⁷¹ Vide <https://bit.ly/3igLFgl>.

¹⁷² Vide <https://bit.ly/38LAMjx>.

¹⁷³ Vide <https://bit.ly/2KhS4eN>.

asistente puede observar y valorar en su conjunto cada pieza, la morfología de su soporte, su posición en el espacio o su tamaño.

Por otro lado, los resultados obtenidos mediante el RTI también pueden darse a conocer por estos medios, mediante un *plugin* que permite insertar un visor RTI en una web. De esta manera, el usuario tiene la posibilidad de manipular en tiempo real la iluminación de, por ejemplo, los diferentes ejemplares de una colección numismática. Así, se revelan desde la pantalla de un ordenador todos los detalles de unas piezas de pequeño tamaño y generalmente expuestas a una distancia mínima de 50 cm de los ojos del observador (Palma, 2014). En relación con este procedimiento queremos destacar el proyecto de digitalización de las colecciones de Supino y Franceschi, del Museo Nazionale di San Matteo¹⁷⁴ (Palma *et al.*, 2012) y de Simoneschi del Palazzo Blu¹⁷⁵ (Palma *et al.*, 2014) ambos en Pisa (Italia), y la colección digital de monedas republicanas *The Badian Collection*¹⁷⁶ del *Department of Classics* de la *School of Arts and Sciences* de la *Rutgers University* (New Jersey, Estados Unidos).

Todas estas exposiciones virtuales, ya sean de modelos 3D fotogramétricos o de imágenes 2D con iluminación interactiva, nacen de investigaciones que a su vez se han apoyado en estas tecnologías durante el proceso de análisis y documentación de las piezas. La capacidad de medir con exactitud dos puntos de un objeto a partir de un modelo fotogramétrico permite especificar aún más en la descripción del soporte epigráfico y numismático, evitando explicaciones vagas o imprecisas sobre la morfología de las piezas. Tradicionalmente, tales descripciones estaban acompañadas de fotografías en 2D o incluso dibujos a mano alzada que dependían de la pericia del investigador para plasmar de manera clara lo que se referenciaba en el texto. Sin embargo, los modelos 3D fotogramétricos son cada vez más comunes en el aparato gráfico de las publicaciones, ya estén insertos en el trabajo por medio de un enlace,

¹⁷⁴ Vide <https://bit.ly/39xnN4k>.

¹⁷⁵ Vide <https://bit.ly/3qsqab>.

¹⁷⁶ Vide <https://bit.ly/39yVhPz>.

sean visualizables y manipulables en un archivo informático .PDF (Andreu, 2019) o se empleen fotografías en 2D de alta calidad que sirvan de apoyo a la argumentación y descripción del soporte epigráfico (Paredes *et al.*, 2020) o numismático. Por su parte, el RTI no sólo captura la forma y el color superficiales de un objeto y permite su re-iluminación interactiva desde cualquier dirección, sino que también mejora estos atributos, de manera que el investigador puede obtener más información acerca de la superficie de las monedas (Mudge *et al.*, 2005; Kotoula y Kyranoudi, 2013) y de los epígrafes (Mudge *et al.*, 2008, Fig. 11; Marín *et al.*, 2019) que no sería apreciable con un examen empírico directo del objeto físico (Pollard, 2018; Hameeuw, 2018). Al igual que los modelos fotogramétricos, el visualizador RTI permite obtener imágenes de alta calidad que aúnan la información de todas las fotografías empleadas en el procesamiento de los datos.

Por último, el uso de las tecnologías que aquí proponemos en los ámbitos de la educación, la investigación y la difusión ofrece la posibilidad de añadir capacidades extracurriculares al alumnado. Como futuros profesores, investigadores o divulgadores deben familiarizarse con el empleo de estas técnicas novedosas, sobre todo si pretenden adaptarse a un futuro que tiende a la especialización y a una exigencia cada vez mayor en el ámbito profesional (Jimeno *et al.*, 2000; García Montalvo, 2009; Herrera Cuesta, 2018). El bajo coste de estas técnicas y la escasa infraestructura necesaria para su empleo supone otro aliciente a la hora de incluirlas en el temario de estas asignaturas. Por ejemplo, existen varios *software open-access* que permiten procesar imágenes para la creación de modelos 3D fotogramétricos, como *Regard3D*, *OpenMVG*, *Meshroom*, *Isight3D*, *Isight3dnd*, *MicMac* o *Colmap*. Actualmente, también contamos con aplicaciones móviles para sistemas operativos Android e IOS que posibilitan escanear un objeto en 3D usando la cámara de nuestro dispositivo móvil, como *Qlone*, *Trnio*, *Scann 3D*, *Scandy*, *ITSeez3D* o el sensor LiDAR, incluido en los modelos iPhone 12 Pro e iPad Pro (2020) de Apple con las apps *SiteScape*, *EveryPoint*, *Polycam* y *Scandy*. A esto, debemos añadir que la progresiva evolución de los dispositivos móviles, con una cámara integrada de mayor calidad, democratiza el acceso a la fotogrametría SfM reduciendo considerablemente la inversión inicial

del usuario¹⁷⁷. Por su parte, el equipo de *Cultural Heritage Imaging* ha desarrollado los *softwares* RTIBuilder y RTIViewer, ambos *open-access*, que permiten procesar y visualizar los datos de las fotografías de manera totalmente gratuita (Cultural Heritage Imaging, 2018). Por último, la impresión 3D FDM/FFF reduce considerablemente el coste de la fabricación de objetos físicos en serie respecto a otros métodos tradicionales cuando la complejidad y la personalización de los objetos es mayor (Pereira *et al.*, 2019). Además, aunque el usuario debe realizar una inversión inicial en la compra de la impresora 3D, su precio se ha ido reduciendo considerablemente gracias al desarrollo de proyectos de investigación como *RepRap: The Replicating Rapid Prototyper*, liderado por A. Bowyer de la *University of Bath* (Reino Unido), cuyo objetivo principal era crear una máquina autorreplicable, es decir, capaz de imprimir en serie otras impresoras 3D (Sells *et al.*, 2009; Jones *et al.*, 2011).

4. CONCLUSIONES

La progresiva evolución de las Nuevas Tecnologías y su democratización facilitan su aplicación en los ámbitos de la educación e investigación universitarias sea más accesible. El empleo en las aulas de las tres técnicas que aquí presentamos, la fotogrametría digital SfM, el RTI y la Impresión 3D FDM/FFF, permite que el alumnado se convierta en un agente activo en el proceso de aprendizaje y que se familiarice con unas cadenas de trabajo cada vez más presentes en el ámbito profesional. A su vez, consideramos que las materias pueden resultar más atractivas para el estudiante, de manera que interiorice mejor los conocimientos teóricos impartidos en cada una de ellas. Además, estas técnicas facilitan al investigador analizar las piezas arqueológicas, monedas y epígrafes concretamente, con mayor precisión y, por tanto, confirmar o rechazar hipótesis no comprobables con un examen empírico directo del objeto. Estas tecnologías también posibilitan la difusión de los resultados de in-

¹⁷⁷ Los equipos laser escáner industriales, que permiten obtener un modelo 3D de un objeto físico a partir de la obtención de una nube de puntos densificada de precisión, son considerablemente más caros que las soluciones que aporta la fotogrametría SfM, pudiendo conseguir resultados similares en términos de calidad del modelo y su precisión geométrica.

investigación a un público más amplio, ejemplificando la explicación teórica con un aparato gráfico de mayor calidad o presentando en tres dimensiones, ya sea digital o físicamente, el objeto de estudio del que se está hablando. Los canales de comunicación vía web, como los repositorios digitales o las exposiciones interactivas, también facilitan dicha divulgación, permitiendo al usuario interesado consultar, ya sea desde su ordenador o incluso desde un dispositivo móvil, los resultados de la investigación, pero también interactuar con las piezas.

Tal y como hemos señalado previamente, la propuesta metodológica se compone de dos pilares fundamentales. En primer lugar, en el ámbito educativo pretendemos poner en marcha un Proyecto de Innovación Docente con el que explicar el funcionamiento de las tres tecnologías y sus aplicaciones al estudio dentro de la Arqueología, de la Epigrafía y la Numismática. Este proyecto, cuyo desarrollo está programado para el curso 2021/2022, involucrará a las asignaturas optativas de Epigrafía y Numismática y Arqueología Hispanorromana del Grado en Historia de la Universidad de Salamanca. En la práctica, consistirá en la realización de seminarios y reuniones de seguimiento con los estudiantes, con el fin de explicarles la cadena de trabajo de cada técnica, su funcionamiento y guiarles durante todo el proceso. Posteriormente, cada alumno y alumna deberá poner en práctica estos conocimientos con algún epígrafe o moneda, creando un modelo 3D fotogramétrico de la pieza, analizando su contenido y morfología gracias al RTI e imprimiendo posteriormente el modelo digital en tres dimensiones. Posteriormente, cada estudiante mostrará los resultados de todo este proceso al resto de sus compañeros y deberá compartirlos en la red a partir de una cuenta de *Sketchfab* creada para tal fin.

Por otro lado, planteamos la realización de seminarios, jornadas y la participación en congresos para fomentar el empleo de estas técnicas entre los investigadores. Para ello, y contando con nuestra experiencia previa, proyectamos organizar periódicamente seminarios de investigación como el que acogió la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de Salamanca en 2019. Organizadas en diferentes sesiones, cuya lógica responderá al tipo de tecnología y su aplicación en los estudios

epigráficos y numismáticos, las ponencias se renovarán cada año favoreciendo así la participación de investigadores provenientes de diferentes universidades y centros de investigación que podrán generar, a partir de su experiencia, nuevos avances tanto en el proceso de la documentación como en el estudio del material arqueológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreu Pintado, J. (2016). Museo Histórico y Arqueológico Virtual “Los Bañales”: fotogrametría 3D al servicio de la puesta en valor del patrimonio arqueológico y de la formación universitaria. Cuadernos del Marqués de San Adrián: revista de Humanidades, 1.
- Andreu Pintado, J. (2019). Un nuevo titvlvs sepylchralis en territorio vascón (Cabezo Ladero, Sofuentes, Zaragoza). Cuadernos de Arqueología de la Universidad de Navarra, 27, 153-161.
- Andreu Pintado, J. & Serrano Basterra, P. (2019). Utilidades de la fotogrametría digital 3D en la investigación epigráfica y en la transferencia social de sus resultados: el caso del Museo Virtual de Santa Criz de Eslava (Navarra). Cuadernos del Marqués de San Adrián: revista de Humanidades, 11, 107-127.
- Barmpoutis, A. (2012). Digital Epigraphy Toolbox. Recuperado de <https://bit.ly/3bOTXep>.
- Bozia, E., Barmpoutis, A. & Wagman, R. S. (2014). Open-Access Epigraphy. Electronic Dissemination of 3d-digitized Archaeological Material. En GCH '16: Proceedings of the International Conference on Information Technologies for Epigraphy and Digital Cultural heritage in the Ancient World (pp. 421-431). Sapienza Università Editrice.
- Campbell, I., Bourell, D. & Gibson, I. (2012). Additive Manufacturing: Rapid Prototyping comes of age. Rapid Prototyping Journal, 18(4), 255-258.
- Caro, J. L. (2016). Fotogrametría digital para la difusión del patrimonio numismático. En P. Grañeda Miñón (ed.) XV Congreso Nacional de Numismática (Madrid, 28-30 octubre 2014) (pp. 669-676). RCM-FNMT.

- Cerdán Supervía, B. (2020). Alumnado protagonista y activo con la clase invertida. *Aula de Innovación Educativa*, 291, 65-66.
- Cultural Heritage Imaging (2013). Reflectance Transformation Imaging (RTI): ¿Qué es?. Recuperado de <https://bit.ly/3oIkcGT>.
- Cultural Heritage Imaging (2018): Downloads. RTI Reflectance Transformation Imaging. Recuperado de <https://bit.ly/39D9wTx>.
- Digital Epigraphy and Archaeology Project (2013). Inscriptions tele-transferred between U.S. universities and printed in 3D. Recuperado de <https://bit.ly/2LrUFn5>.
- Espinosa Espinosa, D. & Carrero, M. (2018). Tecnologías digitales para el estudio, la difusión y preservación del patrimonio histórico y cultural gallego: contribuciones del proyecto Epigraphica .3.0. *SÉMATA. Ciencias Sociais e Humanidades*, 30, 461-478.
- Ford, S. & Minshall, T. (2019). Invited Review Article. Where and How 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150.
- García García, D., Martínez Belda, M. C., Baenas, T., Belda palazón, S., Escapa, L. A., García-Castaño, F. & Melguizo, M. A. (2016). El rol del alumno en clase. de la observación a la acción. En J. D. Álvarez Teruel, S. Grau Company & M. T. Tortosa Ybáñez (coords). *Innovaciones metodológicas en docencia universitaria: resultados de investigación* (pp.1397-1410). Universitat d'Alacant.
- García Montalvo, J. (2009). La inserción laboral de los universitarios y el fenómeno de la sobrecualificación en España. *Papeles de economía española*, 119, 172-187.
- Hameeuw, H. (2018). Imaging seals and coins with various light angles and spectra: consequences for understanding and representing colour and relief. En K. Kelley & R. K. L. Wood (eds.). *Digital Imaging of Artefacts: Developments in Methods and Aims* (pp. 101-117). Archaeopress.
- Herrera Cuesta, D. (2018). El mercado laboral de los titulados en España. En F. J. García Castilla & M. J. Díaz Santiago (coords.). *El fenómeno de la sobrecualificación. Investigación y prácticas sociológicas: escenarios para la transformación social* (pp. 35-48). UNED.

- Hess, M.; MacDonald, L. W. & Valach, J. (2018). Application of multi-modal 2D and 3D imaging and analytical techniques to document and examine coins on the example of two Roman silver denarii. *Heritage Science*, 6, 5.
- Jimeno, J. F.; Felgueroso, F. & Dolado, J. J. (2000). La inserción laboral de los titulados universitarios en España. *Papeles de economía española*, 86, 78-98.
- Jones, R., Haufe, P., Sells, E., Iravani, P. Olliver, V., Palmer, C. & Bowyer, A. (2011). RepRap – The Replicating Rapid Prototyper. *Robotica*, 29, 177-192.
- Kotoula, E. J., & Kyranoudi, M. (2013). Study of Ancient Greek and Roman Coins using Reflectance Transformation Imaging. *E-Conservation Magazine*, 25, 74-88.
- Macdonald, L. & Robson, S. (2010). Polynomial Texture Mapping and 3D Representations. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38, 422-427.
- Malzbender, T., Gelb, D. & Wolters, H. (2001). Polynomial Texture Maps. En L. Poccock (ed.) *SIGGRAPH '01: Proceedings of 28th annual conference on Computer Graphics and Interactive Techniques* (pp.519-528). Association for Computing Machinery.
- Marín Ortega, S., Castell Granados, P., Alegría Tejedor, W. & Sureda i Jubany, M. (2019). L'RTI (Reflectance Transformation Imaging) com a eina clau per a l'estudi del registre material. Exemples d'anàlisi sobre el segellament de cera de la lipsanoteca de Sant Vicenç de Capdella i els grafitis de l'altar major romànic. En *III Congrés Internacional d'Història dels Pirineus. Ponències i Comunicacions* (pp. 637-654). UNED.
- Micheletti, N., Chandler, J. H., & Lane, S. N. (2015). Structure from Motion (SfM) Photogrammetry. En L. E. Clarke & J. M. Nield (eds.), *Geomorphological Techniques* (pp. 1-12). British Society for Geomorphology.
- Mudge, M., Voutaz, J.P., Schroer, C. & Lum, M. (2005). Reflection Transformation Imaging and Virtual Representations of Coins from the Hospice of the Grand St. Bernard. En M. Mudge, N. Ryan & R. Scopigno (eds.) *The 6th International Symposium on Virtual*

Reality, Archaeology and Cultural Heritage. The Eurographics Association.

- Mudge, M., Malzbender, T., Chalmers, A., Scopigno, R., David, J., Wang, O., Gunawardane, P., Ashley, M., Doerr, M., Proenca, A. & Barbosa, J. (2008). Image-Based Empirical Information Acquisition, Scientific Reliability, and Long-Term Digital Preservation for the Natural Sciences and Cultural Heritage. En M. Roussou, & J. Leigh (eds.) Eurographics 2008 - Tutorials. The Eurographics Association.
- Palma, G. (2014). RTI Museum Kiosk for Coin Collections. Recuperado de <https://bit.ly/3ss8LW0>.
- Palma, G. Baldasari, M., Favilla, M. C. & Scopigno, R. (2014). Storytelling of a Coin Collection by Means of RTI Images: the Case of the Simoneschi Collection in Palazzo Blu. En MWF2014: Museums and the Web Florence 2014. Recuperado de <https://bit.ly/2XHceBM>.
- Palma, G., Siotto, E., Proesmans, M., Baldasari, M., Baraccini, C., batino, S. & Scopigno, R. (2012). Telling the Story of Ancient Coins by Means of Interactive RTI Images Visualization. En G. Earl, T. Sly, A. Chrtysanthi, P. Murrieta-Flores, C. Papadopoulos, I. Romaowska & D. Whatley (eds.). Archaeology in the digital era : papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26-29 March 2012 (pp. 177-185). Amsterdam University Press.
- Paredes Martín, E., Ruivo, J. & Correia, V. H. (2020). Um fragmento de miliário de Conimbriga. *Ficheiro Epigrafico*, 202, 737.
- Pereira, T., Kennedy, J. V. & Potgieter, J. (2019). A comparison of traditional manufacturing vs additive manufacturing, the best method for the job. *Procedia manufacturing*, 30, 11-18.
- Pereira Uzal, J. M. (2016). 3D Modelling in Cultural Heritage using Structure from Motion Techniques. *PH Investigación: revista del IAPH para la investigación del patrimonio cultural*, 6, 49-60.
- Pollard, A. (2018). A multispectral imaging and 3d modelling project on the Arundel marbles. En K. Kelley & R. K. L. Wood (eds.). *Digital Imaging of Artefacts: Developments in Methods and Aims* (pp. 145-163). Archaeopress.

- Pollishuke, M. & Schwartz, S. (2005). *Aprendizaje activo. Una organización de la clase centrada en el alumnado*. Narcea ediciones.
- Ramírez-Sánchez, M., García Sánchez, M. & Giral Soler, S. (2015). *Epigraphia 3D. Un Proyecto de innovación científica en la divulgación del patrimonio epigráfico de Hispania*. *Epigraphica*, 77, 371-396.
- Ramírez-Sánchez, M. Suárez Rivero, J.-P. & Castellano-Hernández, M.^a-Á. (2014). *Epigrafía digital: tecnología 3D de bajo coste para la digitalización de inscripciones y su acceso desde ordenadores y dispositivos móviles*. *El profesional de la información*, 23(5), 467-474.
- Rodríguez Martín, J.-D., Araque Moreno, Y., Ariza Tirados, E., García Fernández, E. B., Gómez Jiménez, S. Lorenzo Fernández, A., Paredes Martín, E. & Serrano Ordozgoiti, D. (2020). *HISPANIA VIRTUAL: las leyes municipales romanas vistas desde tres disciplinas UCM (UCM 354/2019)*. Recuperado de <https://bit.ly/3o8Y9Ip>
- Savini, A. & Savini, G. G. (2015). *A short history of 3d Printing, a Technological Revolution just started*. En M. Geselowitz (ed.), *Proceedings of the 2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)*. IEEE.
- Sells, E., Bailard, S., Smith, Z. & Bowyer, A. (2009). *RepRap: The Replicating Rapid Prototyper: Maximizing Customizability by Breeding the Means of Production*. En F. T. Piller & M. M. Tseng (eds.), *Handbook of Research in Mass Customization and Personalization*. World Scientific.
- Sweeney, C. (2016). *Theia Vision Library*. Recuperado de <https://bit.ly/2XG2vMo>.
- Todo-3D (2017). *FDM-FFF o Modelado por Deposición Fundida*. Recuperado de <https://bit.ly/3sowczn>.
- Westoby, M., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., & Reynolds, M.J. (2012). *Structure from Motion photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications*. *Geomorphology*, 179, 300-314.