

Fotogrametria per a la conservació-restauració de béns culturals

La fotogrametria és una disciplina que permet digitalitzar objectes d'una manera bastant automatitzada i a un cost raonable en comparació amb altres sistemes de digitalització. Fa anys que aquesta tècnica s'aplica en l'àmbit del patrimoni, sobretot per a la seva documentació, però també com una eina per a l'obtenció d'ortofotografies, de reproduccions o per obtenir models de base per fer restauracions i recreacions virtuals, entre altres usos. Les possibles aplicacions directes per als professionals de la conservació-restauració són molt interessants i amb aquest article es pretén mostrar casos pràctics que puguin ajudar a difondre la seva normalització en diversos processos de treball.

Photogrammetry in the Preservation-Restoration of Cultural Heritage

Photogrammetry is a discipline which allows objects to be scanned in a fairly automated way and at a reasonable cost compared to other scanning methods. For some years this technique has been employed in the field of cultural heritage, especially for purposes of documentation, but also as a tool to produce orthophotographs, replicas or to obtain base models to make virtual restorations and recreations, among other uses. The direct applications possible are of great interest to professionals in preservation-restoration and this paper presents case studies which may help to propagate its standardisation in various work processes.

Aleix Barberà Giné. Conservador-restaurador de béns culturals. Col·laborador del Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya. Professor associat de la Universitat de Lleida. Conservator-Restorer of Cultural Heritage. Associate at the Centro de Restauración de Bienes Muebles de Catalunya. Associate Lecturer at the University of Lleida
aleixbg@gmail.com

Paraules clau: fotogrametria, noves tecnologies, 3D, restauració virtual, realitat augmentada.

Keywords: photogrammetry, new technologies, 3D, virtual restoration, augmented reality.

Data de recepció: 18-12-2017 > **Data d'acceptació:** 21-12-2017 / **Date of receipt:** 18-12-2017 > **Date of acceptance:** 21-12-2017



INTRODUCCIÓ

Definir la fotogrametria és una qüestió relativament complexa. Etimològicament, el terme, encunyat l'any 1893, prové de la suma de les paraules gregues *ὄρατος* (*photos*, 'llum'), *γραμμα* (*gramma*, 'escrit') i *μετρον* (*metron*, 'mesurar'), així que de manera estricta podríem dir que significa alguna cosa similar a la representació o dibuix de mesures obtingudes amb llum.

Per a ser més precisos, recorrem a l'accepció de la institució més important en la matèria en l'àmbit internacional, com és la International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS). Segons aquesta entitat, "*photogrammetry and remote sensing is the art, science, and technology of obtaining reliable information from noncontact imaging and other sensor systems about the Earth and its environment, and other physical objects and processes through recording, measuring, analyzing and representation*".¹ Es posen així al mateix nivell la fotogrametria i la teledetecció, d'aquesta manera podem començar a entendre que el camp d'aplicació més habitual

Composició digital d'un model obtingut amb fotogrametria de l'escultura gòtica en alabastre policromat corresponent a la figura de Sant Joan del Sant Enterament de Girona, atribuït per contracte al Mestre Aloi (imatge: Aleix Barberà).

d'aquesta disciplina queda molt lluny del patrimoni. De fet, és una tècnica amb moltes dècades d'implementació vinculada de manera preferent a la topografia i aquesta definició s'entén millor des de l'òptica d'aquesta disciplina.

Tot i això, l'essència més elemental de la fotogrametria seria la d'habilitar unes imatges (habitualment fotografies en l'espectre visible, però no sempre) per a l'anàlisi "fidel" dels objectes o paisatges que s'hi representen. Per tal d'assolir-ho, es requereix l'aplicació de diversos processos per a la correlació espacial de les fotografies a través de punts homòlegs i la correcció de les deformacions òptiques pròpies de la fotografia així com dels errors de perspectiva, entre d'altres, i vincular les imatges amb punts de referència mètrics o de coordenades cartesianes.

Des de l'òptica patrimonial, però, ens interessarà abordar un petit espai d'entre tots els camps d'aplicació d'aquesta tècnica i de manera més simplificada la podem definir com la generació semiautomàtica de models tridimensionals a partir de fotografies.²

Amb més exactitud, i de totes les definicions que hi ha sobre el terme, potser la que és més precisa i adient per al camp de la conservació i restauració de béns culturals és la que

¹ Font: <<http://www.isprs.org>> [Consulta: 15 novembre 2017]. La fotogrametria i la teledetecció són l'art, la ciència i la tecnologia d'obtenir informació fiable a partir d'imatges sense contacte directe i altres tipus de sensors sobre la Terra i el seu entorn, i altres objectes i processos físics mitjançant la gravació, mesurament, anàlisi i representació.

² APARICIO RESCO, P. "Materiales didácticos". *Curso de fotogrametría* (nivel inicial). Burgos: Universidad de Burgos, 2015.

³ JÁUREGUI OLAZÁBAL, L. M. *Introducción a la fotogrametría*. Bogotá: Universidad de Los Andes, 2001.

⁴ BLACHUT, T. *Los primeros días de la fotogrametría. Desarrollo histórico de los equipos y métodos fotogramétricos*. México DF: Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1987, núm. 24.

⁵ JULIÁ, J. E. *Las transiciones en la fotogrametría*. Madrid: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica de la Universidad Politécnica de Madrid, 2002.

⁶ La càmera clara és un dispositiu visual que realitza una superposició òptica d'allò que s'està veient i de la superfície en la qual s'està dibuixant.

⁷ SCHWIDEFKY, K. *Fotogrametría terrestre y aérea*. Barcelona: Labor, 1943.

⁸ BUILL, F.; NÚÑEZ, M. A.; RODRÍGUEZ, J. J. *Fotogrametría analítica*. Barcelona:

Universitat Politècnica de Catalunya, 2003.

⁹ JULIÁ, J. E. *Las transiciones...*

¹⁰ KONECNY, G. *Geoinformation. Remote sensing, photogrammetry, and geographic information systems*. Boca Raton: CRC Press. Taylor&Francis Group, 2014.

¹¹ ARCUSA MAGALLÓN, H. [et al.] "La fotogrametría como alternativa al registro de materiales arqueológicos: su aplicación en la Cueva de els trocs y Valmayor XI". *Actas del I Congreso de Arqueología y patrimonio aragonés*. Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón, 2016, p. 533-539.

ens dona Jáuregui: "la fotogrametría es una disciplina que crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D, para de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas [...]. Ya que las imágenes de los objetos son obtenidas por medios fotográficos, la medición se realiza a distancia, sin que exista contacto físico con el objeto".³

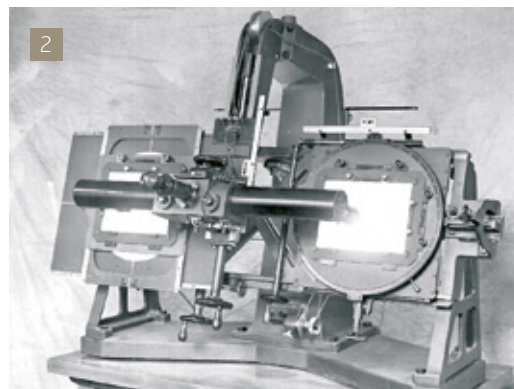
BREU APUNT SOBRE L'ORIGEN DE LA FOTOGAMETRIA

Si bé l'objectiu de l'article no es basa a fer un repàs de la història de la tècnica ni dels seus principis, creiem que com a conservadors-restauradors és força interessant tenir-ne unes nocions bàsiques per entendre d'on venim. El naixement de la fotogrametría, tal com s'ha definit, es vincula intrínsecament al de la fotografia, tot i que hi ha autors que en vinculen els antecedents en el dibuix de plànols amb càlculs i correccions de perspectives. En aquest sentit, la primera notícia que es té de l'ús de perspectives corregides amb finalitats cartogràfiques és de l'any 1725, quan Capeller⁴ dibuixa el mont Pilatus aplicant un procediment de dibuix de perspectives, que no acabà de fructificar, ideat pel pintor Albrecht Dürer en el segle XVI.⁵

Seria durant la segona meitat del segle XIX quan l'enginyer militar francès Aimé Laussedat empraria per primera vegada la recentment inventada fotografia amb interessos cartogràfics i per a la confecció de plànols i alçats,¹ després d'haver experimentat inicialment amb el dibuix amb càmera clara.⁶ El seu sistema de treball, que va batejar com a "metrofotografia", es basava en el que actualment es coneix com a fotogrametría d'interseccions.⁷ Paral·lelament, els treballs d'Albrecht Meydenbauer s'encaminarien en la mateixa direcció i tècnica, aplicats espe-

cialment a la fotografia per a l'alçat d'obres arquitectòniques alemanyes. Seria ell qui batejaria la disciplina amb el terme "fotogrametría" que encara utilitzem actualment.⁸

Tot i això, el sistema desenvolupat per Laussedat i Meydenbauer era molt rudimentari i lent a causa de la identificació i càlcul manual de punts homòlegs. Va ser a partir de l'any 1901, amb l'aplicació de la visió i la mesura estereoscòpiques de l'estereocomparador dissenyat per Carl Pulfrich i construït per Carl Zeiss,⁹ i les posteriors millores tècniques que suposà l'addició de l'estereoautògraf d'Eduard von Orei l'any 1909,¹⁰ quan la fotogrametría es va consolidar com l'eina bàsica per a l'obtenció de la cartografia contemporània.²

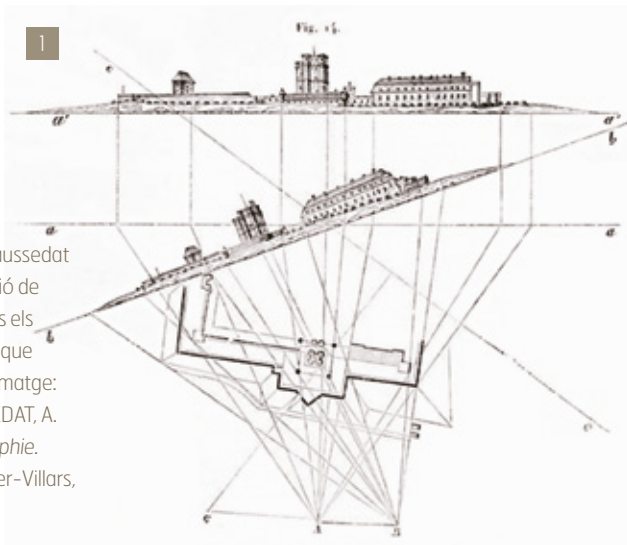


[2] L'estereocomparador fabricat per Zeiss a partir dels estudis de Pulfrich (imatge: obtinguda de ZEISS, <<http://www.city-of-light.com>> [Consulta: 19 novembre 2017]).

A partir de l'aparició d'aquestes primeres eines es pot dir que neix la fotogrametría analògica, que va permetre substituir els càlculs matemàtics de correcció de perspectiva de Laussedat i Meydenbauer per instrumental opticomecànic. Tot i l'avenç, eren eines costoses, d'elevada precisió i difícils de calibrar, només aptes per a professionals altament qualificats. Seguidament, a partir dels anys 50 del segle XX, s'inicia la transició cap a la fotogrametría analítica sota les bases matemàtiques del Dr. Helmut Schmidt i facilitada per l'aparició dels ordinadors, que permeteren desenvolupar grans càlculs d'operacions.¹¹

El darrer salt en el qual estem immersos actualment es va començar a produir a la dècada dels anys 90 del segle passat amb la transició cap a la fotogrametría digital. Totes les operacions han passat a fer-se de manera computacional per ordinador i, fins i tot les imatges, han deixat de ser analògiques per obtenir-se de manera digital. Aquesta circumstància ha generat l'aparició de nous mètodes de càlcul adaptats a la nova realitat de les imatges en píxels, com ho és l'estratègia *structure from motion* (SfM), entre altres algorismes.

Com en la fotogrametría tradicional, l'SfM que s'aplica de manera generalitzada avui en dia utilitza imatges sobre-



[1] Dibuix d'Aimé Laussedat aplicant la correcció de perspectiva segons els complexos càlculs que va desenvolupar (imatge: extreta de LAUSSE DAT, A. *La Métrophotographie*. París: Hrsq. Gauthier-Villars, 1899).

posades d'un mateix model obtingudes des de punts de vista diferents. Es basa en el fenomen conegut com a profunditat cinètica, que defineix la capacitat del sistema de visió humana per reconstruir estructures tridimensionals a partir d'imatges 2D projectades a la retina gràcies al moviment de l'observador envers el model.¹² Tot i això, es diferencia dels mètodes tradicionals per la seva capacitat de determinar la geometria interna de la càmera, la seva posició i la seva orientació de manera automàtica sense necessitat de predefinir punts de control visibles sobre posicions tridimensionals conegudes.¹³

D'aquesta manera, l'augment de les prestacions dels ordinadors personals així com de les càmeres digitals i l'accessibilitat econòmica del gran públic a aquestes eines, conjuntament amb la refinació dels algorismes de càlcul a partir de les imatges digitals, al cap i a la fi, han comportat la democratització de la tècnica i la seva incorporació a l'àmbit del patrimoni que ens interessa.

Després d'aquesta pinzellada sobre l'evolució de la tècnica, per ser estrictes, a partir d'ara hauríem de parlar de fotogrametria digital terrestre de curt abast, ja que és en aquest rang de la disciplina en el qual ens centrarem, tot i que per fer-ho més fàcil parlarem simplement de fotogrametria. La classificació de les diferents modalitats de fotogrametria es basa en la relació que s'estableix entre l'objecte i la càmera que l'enregistra. Si bé en aquest article no en parlarem, cal tenir present que en patrimoni, i especialment en l'arqueològic o en l'arquitectònic, també és habitual l'execució de fotogrametria aèria per a l'obtenció de models més grans, com jaciments o monuments.¹⁴

LA FOTOGAMETRIA EN PATRIMONI: FORMACIÓ I CRITERI

Hem de reconèixer que el sector de l'arqueologia ha sigut el primer a aplicar la fotogrametria per a la documentació del patrimoni de manera extensiva i, actualment, la major part d'excavacions ja compta amb el suport d'aquesta tècnica per al dibuix i la documentació dels treballs.¹⁵ Tot i això, l'àmbit d'aplicació de la fotogrametria com una eina que permet digitalitzar en tres dimensions les obres d'art és gairebé infinit i, amb els coneixements informàtics i de disseny 3D adequats, ens pot servir de base per aconseguir pràcticament qualsevol cosa que puguem imaginar. És per això incompreensible que avui en dia el sector de la conservació-restauració no n'hagi normalitzat encara el seu ús com a complement per a la documentació, l'anàlisi o el treball sobre obres d'art.

Actualment qualsevol persona amb un ordinador relativament potent i una bona càmera fotogràfica pot crear models tridimensionals amb programes de fotogrametria de manera bastant automàtica. No obstant això, caldrà

tenir present que el detall i la rigurositat del model estaran sempre regits per la qualitat de les fotografies i la metodologia de treball que utilitzem. En conseqüència, convé tenir present que a l'inici de l'aplicació d'aquesta disciplina en el nostre àmbit professional és fonamental que treballlem per garantir-ne la fidelitat, rigurositat i sistematització de cara a donar credibilitat i projecció a la tècnica.

L'única manera d'assolir-ho és la formació abans d'emprendre projectes autònoms que conjuguin fotogrametria i patrimoni. El binomi és fonamental, ja que enllaça tècnica i criteri, i en cap cas hauria de prevaldre mai una sobre l'altre. Per aquells que ho vulguin, ja sigui tant per tenir uns coneixements bàsics com per poder endegar de manera personal projectes propis, hi ha nombroses institucions on formar-se. Cada vegada es poden trobar més cursos sobre fotogrametria, tan presencials com en línia, però probablement a l'estat espanyol les institucions que tenen més recorregut en l'àmbit del patrimoni podrien ser, entre d'altres, *KORÉ. Formación online en patrimonio y tecnología*,¹⁶ *Aula Virtual de la Universitat de Burgos*¹⁷ i *Patrimonio Virtual de la Universitat d'Alacant*.¹⁸

D'altra banda, com a conservadors-restauradors potser tenim un marc deontològic i ètic força desenvolupat pel que fa al contacte físic amb les obres d'art, però en l'àmbit digital, tot just estrenat, s'haurà d'afinar i desenvolupar una deontologia professional pròpia¹⁹ o recórrer a la que altres col·lectius estan desenvolupant. És el cas de la *Carta de Londres*,²⁰ que tot i que no es refereix explícitament a la restauració virtual posa de manifest aquesta necessitat de definir uns principis bàsics de bona praxi en la dimensió digital del patrimoni, així com els *Principios de Sevilla*,²¹ més encarats cap al patrimoni arqueològic i en els quals s'inclou un glossari amb termes com restauració virtual, reconstrucció virtual o recreació virtual. Són marcs de referència ja existents en què s'apunten principis i criteris molt recurrents en el que seria la conservació-restauració "física" (documentació, interdisciplinarietat, formació, etc.) als quals ja estem avesats.

¹⁷ <<https://ubuvirtual.ubu.es>> [Consulta: 15 novembre 2017].

¹⁸ <<https://www.patrimoniovirtual.com>> [Consulta: 15 novembre 2017].

¹⁹ LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V. M. "Propuesta para profundizar en La Carta de Londres y mejorar su aplicabilidad en el campo del patrimonio arqueológico". *Virtual Archaeology Review*. Vol. 2 (2011), núm. 4, p. 65-69. També disponible en línia a: <<https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4557>> [Consulta: 21 novembre 2017].

²⁰ *La carta de Londres para el uso de la visualización tridimensional en la investigación y divulgación del patrimonio cultural*. 2006. [En línia] <www.londoncharter.org> [Consulta: 21 novembre 2017]. En ella hi trobem desglossats i descrits els principis d'implementació; propòsits i mètodes; fonts d'investigació; documentació; sostenibilitat i accés.

²¹ *Principios de Sevilla. Principios internacionales de arqueología virtual*. International Forum of Virtual Archaeology, 2011. [En línia] <<http://smartheritage.com/wp-content/uploads/2016/06/PRINCIPIOS-DE-SEVILLA.pdf>> [Consulta: 15 novembre 2017]. En ells es parla dels principis d'interdisciplinarietat, finalitat, complementarietat, autenticitat, rigurositat històrica, eficiència, transparència científica, formació i avaluació.

¹² PEREIRA UZAL, J. M. "Modelado 3D en patrimonio cultural por técnicas de *structure from motion*". *ph investigación* (2013), núm. 1, p. 77-87. [En línia] <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/12/33#.WoTAhKjOUdU>> [Consulta: 15 novembre 2017].

¹³ MICHELETTI, N.; CHANDLER, J. H.; LANE, S. N. "Structure from Motion (SfM) Photogrammetry". A: COOK, S.J.; CLARKE, L.E.; NIELD, J.M. [eds.] *Geomorphological techniques*. Londres: British Society for Geomorphology, 2015. Cap. 2, sec. 2.2. [En línia] <http://geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/2.2.2_sfm.pdf> [Consulta: 15 novembre 2017].

¹⁴ DOMÍNGUEZ PÉREZ, C. [et al.] "Drones, fotogrametría y arqueología en México. Principios y ejemplos". *Arqueología* (2017), núm. 52, p. 187-215.

¹⁵ WULFF, R. "Image-based 3D Documentation in Archaeology". *32nd Annual Symposium of the German Association for Pattern Recognition*. 2010. [En línia] <<http://www.dagm2010.org/pdfs/wulffdagm2010.pdf>> [Consulta: 15 novembre 2017].

¹⁶ <<https://koreformacion.com>> [Consulta: 15 novembre 2017] plataforma coneguda anteriorment com a PAR - *Arqueología y Patrimonio Virtual* <<http://parpatrimonio.com>> [Consulta: 15 novembre 2017].

Tot i això, qualsevol persona formada en criteris, teoria i història de la conservació-restauració podrà observar que hi ha termes propis de la nostra disciplina que no han estat recollits o que estan vagament esbossats, en especial en el que es refereix als conceptes vinculats amb la reintegració o restauració. Més que un defecte, cal posar-ho en relleu com una oportunitat de creixement i com un nou camp professional molt extens i divers on poder especialitzar-nos de cara a un futur cada vegada més respectuós i menys invasiu cap a les obres d'art. L'esfera digital és el present i convé que com a col·lectiu professional vulguem formar-ne part per poder aportar també el nostre punt de vista al d'altres companys i companyes de l'àmbit del patrimoni que ja s'hi estan dedicant per consolidar, aquí també, la tan citada interdisciplinarietat.

Com a exemples pràctics d'aplicació de criteris, és interessant recollir sistemes de codificació, en funció de la rigorositat històrica, del que podríem considerar com a reintegracions en recreacions virtuals que s'estan duent a terme, sempre des de l'àmbit de l'arqueologia, i que busquen, precisament, integrar la "llegibilitat" en aquests treballs. És el cas de l'aplicació d'una escala de colors proposada arran del projecte "Bizantium 1200" que codifica, com en una cartografia d'alteracions, la fidelitat de les hipòtesis de recreació virtual en relació als documents i

la informació científica sobre la qual es justifica cada element que compon la reconstrucció.²² La seva aplicabilitat s'ha difós gràcies a un model revisat per Pablo Aparicio i César Figueiredo,²³ disponible en lliure descàrrega.

Un altre sistema de codificació que entronca també la rigorositat documental de les reintegracions en les recreacions virtuals d'una manera molt similar són les *extended matrix* ⁴ que proposa Demetrescu.²⁴ Si bé no són tan visuals o efectistes com la codificació anterior, permeten incloure diverses variables i un elevat rigor científic propi de l'arqueologia que es complementen amb un augment de la laboriositat i complexitat del sistema. Són tan sols dos exemples de l'ebullició que està generant en el marc acadèmic la recerca de la rigorositat i la sistematització d'una nova disciplina sobre la base d'uns principis de referència en desenvolupament. L'interès és denotar la importància del fet que, darrere de l'efectisme que acompanya els resultats de la fotogrametria, hi ha d'haver un corpus teòric que li doni empara i la forneixi de contingut i validesa científica.

LA FOTOGAMETRIA EN EL PATRIMONI: TÈCNICA

Actualment existeixen molts programes específics de fotogrametria que es poden emprar per obtenir models més

[3] Escala d'evidència historicoarqueològica per a recreacions virtuals difosa per Pablo Aparicio i César Figueiredo d'acord amb el model utilitzat pel projecte "Bizantium 1200". Proposa identificar cada element d'una recreació virtual en funció de les fonts històriques i científiques sobre les quals es justifica la seva elaboració, de manera similar a com si es tractés d'una cartografia d'alteracions (Imatge: Pablo Aparicio i César Figueiredo).

ESCALA DE EVIDENCIA HISTÓRICO/ARQUEOLÓGICA (ES) v2.1

Escala de colores correspondiente al grado de evidencia histórica o arqueológica de los elementos representados en la arqueología virtual.



1	Imaginación Elementos basados de forma aproximada en el contexto histórico y natural
2	Conjetura basada en estructuras similares Representación a través de la arquitectura comparada o de elementos similares
3	Referencia textual básica Descripción textual simple (apenas indicativa)
4	Referencia textual descriptiva Descripción detallada de elementos (dimensiones, materiales, colores, etc.)
5	Referencia gráfica sencilla Representaciones sencillas en dibujos, grabados o pinturas
6	Referencia gráfica pormenorizada Representación detallada en dibujos, grabados o pinturas
7	Información arqueológica básica o planimetrías simples Indicios arqueológicos sencillos o plantas y tiradas sencillas
8	Fuerte evidencia arqueológica o documental. Fotografías y plantas detalladas Datos arqueológicos precisos. Otros documentos de relieve como fotografías o plantas pormenorizadas
9	Existente (o parcialmente existente) con modificaciones La estructura u objeto existe en el presente de forma parcial o alterada
10	Existente conforme al original La estructura u objeto existe en el presente conforme a como fue en el pasado

Codificación de color RGB, CMYK y hexadecimal

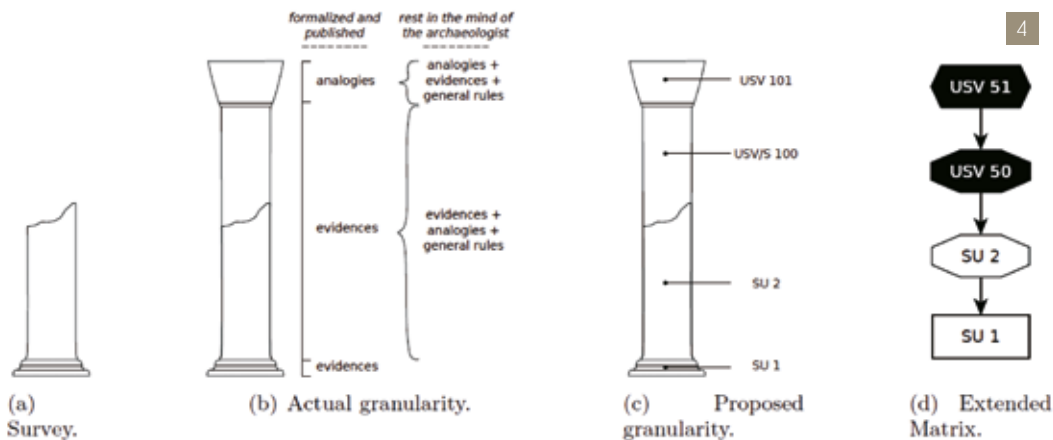
R20 G54 B140 C65 M90 Y0 KO #763568
R0 G79 B159 C100 M70 Y0 KO #00479E
R0 G139 B206 C85 M30 Y0 KO #005ACD
R91 G197 B242 C60 M0 Y0 KO #5BC9F1
R105 G190 B153 C60 M0 Y50 KO #6CB095
R175 G202 B11 C40 M0 Y100 KO #AFCADA
R255 G229 R0 C0 M5 Y100 KO #FFEE00
R040 G160 B67 C0 M45 Y100 KO #F5A05F
R237 G106 B126 C0 M70 Y35 KO #E06C7D
R153 G25 B24 C20 M100 Y100 KO #B6193E

3

²² Vegeu la codificació de la recreació virtual del Port de Teodosià que ha efectuat l'equip del Projecte Bizantium 1200. [En línia] <http://www.bizantium1200.com/port_t.html> [Consulta: 21 novembre 2017].

²³ APARICIO RESCO, P. "Re-construcciones virtuales: la escala de evidencia histórica" [En línia] <<http://parpatrimonio.com>> [Consulta: 21 novembre 2017]. Vegeu també APARICIO RESCO, P.; FIGUEIREDO, C. "El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: hacia una escala de representación gráfica". *Revista Otarq*, Vol. 1 (2016), p. 235-247.

²⁴ DEMETRESCU, E. "Archaeological stratigraphy as a formal language for virtual reconstruction. Theory and practice". *Journal of Archaeological Science*. Vol. 57 (2015), p. 42-55.



[4] Exemple d'aplicació pràctica de l'extended matrix en la recreació: (a) el model obtingut a partir de les restes arqueològiques o "model basat en la realitat"; (b) el model es divideix d'acord amb una única tipologia d'origen (claus-dàtors), però de fet cada segment es basa en diverses fonts valorades en conjunt (claus). En aquest enfocament, el procés utilitzat per obtenir la unitat estratigràfica depèn de les interpretacions arqueològiques. (c) El plantejament "UE - proposta de reconstrucció" proporciona els detalls d'origen per a cada UE. (d) La matriu final sobre el rigor de recreació de cada unitat a partir de les evidències arqueològiques segons les claus proposades per Demetrescu (imatge: extreta de DEMETRESCU, E. "Archaeological stratigraphy as a formal language for virtual reconstruction. Theory and practice". *Journal of Archaeological Science*, Vol. 57 (2015), p. 42-55, amb permís de l'autor).

o menys fidels de la realitat i el que és previsible és que es vagin actualitzant, quedant obsolets o n'apareguin de nous de manera constant. Una de les qüestions que s'haurà de resoldre, de ben segur, és la de l'obsolescència i l'emmagatzematge de totes les dades que s'obtenen perquè puguin ser consultades en un futur.²⁵

Entre els programes sota llicència més habituals hi ha RealityCapture²⁶ i Agisoft PhotoScan,²⁷ tot i que també hi ha alternatives de programari gratuït o lliure, amb interfícies sovint més complexes d'utilitzar, com Python® Photogrammetry Toolbox.²⁸ Tot i això, fins fa poc també hi havia disponible el clàssic de la fotogrametria "domèstica" Autodesk® 123D Catch, actualment substituït per un altre programa de la mateixa empresa amb el nom de ReCap®.²⁹ Balls de noms i d'eines als quals ens haurem de familiaritzar i adaptar amb un esforç constant de reciclatge a causa de la ràpida evolució del programari i les prestacions tecnològiques.

Un procés estàndard habitual amb el programa de fotogrametria Agisoft PhotoScan es podria resumir, de manera molt generalista, en els següents processos. Convé remarcar que, de la mateixa manera que abordem una restauració d'un bé cultural, quan ens plantejem fer una fotogrametria no podem aplicar regles universals, sinó que ens hem d'adaptar a les exigències de cada obra i circumstància, de manera que aquí presentem tan sols una pauta orientativa per mostrar l'esquema bàsic d'un possible sistema de treball:

- **Estudi i preparació de l'espai.** En funció del tipus d'obra que hàgim d'abordar seguirem diferents estratègies, ja que

no és el mateix fer la fotogrametria de la portada d'una església amb orientació oest que una obra en la reserva d'un museu o que es trobi dins d'una vitrina. En aquest sentit, abans d'iniciar el treball directe convindrà preveure qüestions com processos previs necessaris (desmuntatge d'una vitrina, instal·lació d'un petit plató fotogràfic, col·locació de marcadors i escales, requeriments específics de manipulació d'obres delicades, suports per al sosteniment de les peces, etc.), accessibilitat (horaris de visita, barreres físiques, talls puntuals del trànsit que es puguin requerir, desmuntatge d'elements que distorsionin el model, requeriment de bastida o elevadors, etc.), control de la il·luminació (preveure les hores d'insolació més difusa de l'espai o treballar un dia ennuolat quan estem a l'exterior, o bé preveure equips d'il·luminació artificial en interiors) i un seguit d'altres circumstàncies que poden interferir en el resultat final.

- **Obtenció i processament de fotografies.** Cal remarcar que aquest és el procés determinant que marcarà la qualitat del model tridimensional que podrem crear amb fotogrametria. El límit i el detall els definiran en tot moment la qualitat i el detall de les fotografies. En aquest sentit, serà recomanable optar per l'ús de càmeres i òptiques de bona qualitat i obtenir les fotografies amb estratègies de gestió del color.³⁰ A més a més, per evitar possibles distorsions en els models, és pertinent utilitzar sempre una òptica fixa i els paràmetres adequats d'exposició, sensibilitat ISO i profunditat de camp. També es recomana ajudar-nos amb un trípode i utilitzar el disparador retardat per no provocar vibracions, entre tants altres detalls propis de la fotografia en els quals no entrarem.³¹ D'altra banda, la il·luminació del model ha de ser la més difusa possible, evitant l'aparició d'ombres o contrallums. Finalment, cal

²⁵ PEREIRA, J. "Preservación de documentación 3D en patrimonio". [En línia] <<http://www.jpereira.net>> [Consulta: 21 novembre 2017].

²⁶ <<https://www.capturingreality.com>> [Consulta: 16 novembre 2017].

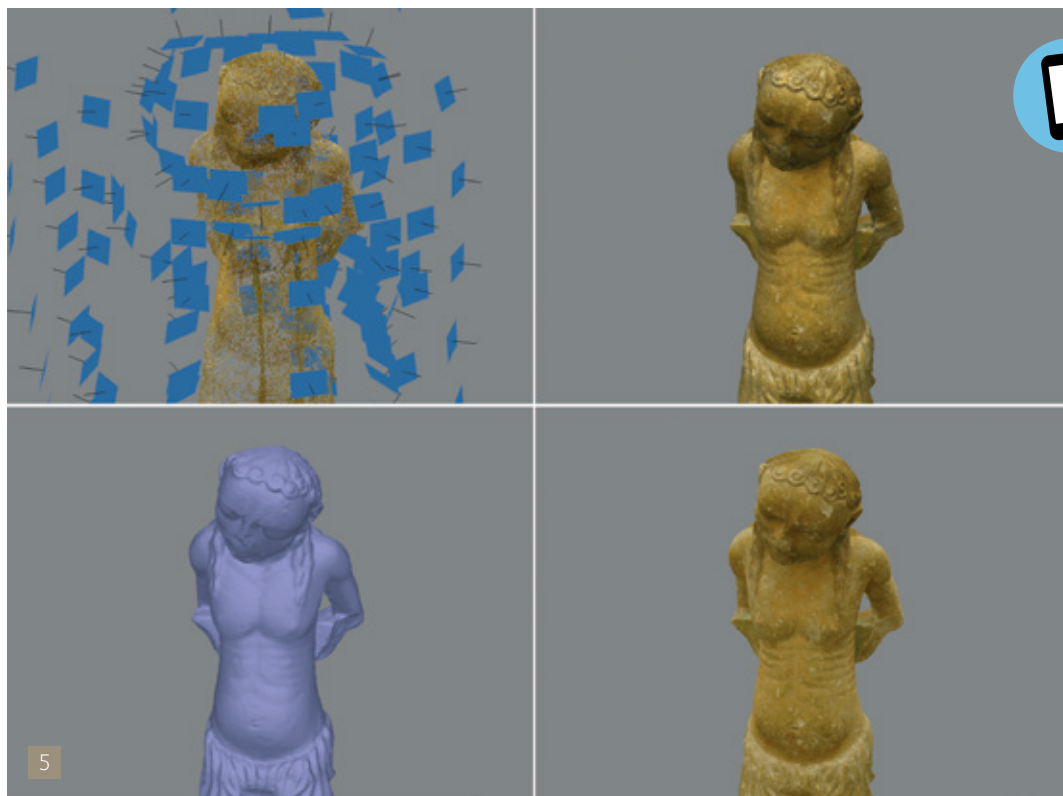
²⁷ <<http://www.agisoft.com>> [Consulta: 16 novembre 2017].

²⁸ <<https://github.com/stephenvincent/photogrammetry>> [Consulta: 16 novembre 2017].

²⁹ <<https://www.autodesk.com/products/recap/overview>> [Consulta: 16 novembre 2017].

³⁰ PEREIRA, J. *Gestión del color en proyectos de digitalización*. Barcelona: Marcombo, 2013.

³¹ DE REU, J. [et al.] "Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage". *Journal of archaeological science*. Vol. 40 (2013), núm. 2, p. 1108-1121.



[5] Exemplificació de les diverses etapes de creació del model digital amb el programa Agisoft PhotoScan d'una estàtua del calvari del Mestre Bartomeu al Museu d'Art de Girona. [Dalt esquerra] Orientació de les càmeres i generació del núvol de punts dispers. [Dalt dreta] Creació del núvol de punts dens. [Baix esquerra] Creació de la malla que conforma la superfície del model a partir del núvol de punts dens, vista amb color neutre i [Baix dreta] el model finalitzat amb la textura fotorealista (imatge: -https://skfb.ly/Jun6 [Consulta: 19 novembre 2017]).

tenir present una pauta o estratègia de captura adient al tipus d'objecte que es vol digitalitzar. Sempre s'ha de basar en el solapament o superposició de les imatges, però aquestes es poden obtenir en forma d'anells concèntrics al voltant d'un objecte, o bé en paral·lel i a diferents alçades d'una façana, per posar dos casos habituals. Cal tenir present que, perquè el programari pugui executar els càlculs de manera automatitzada, ha de captar un mateix punt en almenys dues o més fotografies.

- **Orientació de les càmeres.** En aquesta etapa és quan es comença a treballar amb el programa de fotogrametria pròpiament dit, un cop s'ha fet la presa de fotografies, la correcta gestió de color i el revelatge digital d'aquestes. En funció de l'estratègia de captura amb la qual s'hagi procedit, serà probable que necessitem crear màscare per al correcte processament del model. En aquesta fase inicial del procés, el programa analitzarà la presència de punts homòlegs entre les fotografies de manera automàtica segons els paràmetres que definim. S'obtenen així dues coses: en primer lloc, la distribució de les càmeres, que és com s'anomena el punt des d'on s'ha pres cadascuna de les fotografies (posició x, y, z i orientació) en un espai tridimensional arbitrari que observarem en pantalla. I, en segon lloc, la identificació dels punts homòlegs en un núvol de punts dispers, que seria una primera mostra de punts identificats al model. Un cop s'hagi

obtingut, en funció de la qualitat de les imatges, potser vindrà processar i eliminar alguns d'aquests punts que puguin generar distorsions en etapes futures.

- **Creació del núvol de punts dens i de la malla.** Aquests processos són completament autònoms i, tot i que requeriran molt temps de processament en funció de les característiques del nostre ordinador, només caldrà un mínim seguiment per part del tècnic. En aquestes fases haurem d'especificar les característiques del núvol de punts dens (un pas opcional molt recomanable) que multiplicarà exponencialment els punts reconeguts del model un cop es tenen orientades correctament les càmeres i identificats els punts homòlegs inicials del núvol de punts dispers. Seguidament, si és convenient, es farà el processament i neteja dels punts incoherents, que apareixeran en menor o major mesura en funció de la qualitat de les fotografies i de la correcció en l'estratègia de captura. La creació de la malla, per la qual es configuren prèviament els paràmetres, es fa de manera també automàtica a partir de la unió triangulada del núvol de punts. Finalitzada aquesta etapa ja haurem creat un model tridimensional. ⁵

- **Creació de la textura.** L'última fase del procés fotogramètric, i on es destaca d'altres tècniques com la llum estructurada o els escàners làser, seria la de crear una

textura fotorealista sobre el model tridimensional. Hi ha diversos paràmetres que entren en joc en aquesta etapa i, d'acord amb els processos de càlcul del mateix programa, no es pot garantir que, encara que hàgim emprat estratègies de gestió de color, el resultat sigui absolutament fidel a l'original a escala colorimètrica, ja que no hi ha estudis sobre una possible distorsió que la gestió automàtica del color que fa el programa pugui tenir envers la reproducció fidel del color original. Tot i això, el resultat és evidentment d'una elevada qualitat, més que suficient per a la majoria de propòsits i aplicacions que detallarem a continuació. ⁶

Tot seguit proposarem una sèrie de possibles aplicacions de la fotogrametria que ja s'han exemplificat en l'àmbit de la conservació-restauració i que s'inscriuen en situacions molt diverses, des de l'estudi de l'obra fins a la seva documentació i difusió, passant per la restauració pròpiament dita o, fins i tot, el seu embalatge. Cal remarcar en aquest punt que, en funció de l'objectiu que vulguem assolir, la qualitat del model i l'estratègia per a la seva obtenció podrien variar notablement. En algunes qüestions una mínima formació ens serà suficient per obtenir els resultats desitjats, mentre que en d'altres probablement haurèm de recórrer a tècnics altament qualificats. Alguns casos



[6] Detall de la portalada de Ripoll. A la dreta s'observa una captura de pantalla, per veure la textura fotorealista d'un fragment del model obtingut amb Agisoft PhotoScan partint de 190 fotografies fetes amb la càmera d'un iPhone 6S durant una visita d'obra. A l'esquerra una de les fotografies que ha servit per obtenir el model, des del mateix punt de vista (imatge: <<https://skfb.ly/XPRq>> [Consulta: 19 novembre 2017]).

s'exemplifiquen amb treballs de professionals de reconeguda vàlua que han tingut l'amabilitat de cedir imatges dels seus projectes per il·lustrar el text.³²

DIFUSIÓ

Una de les opcions més senzilles i òbvies per aplicar la fotogrametria en la conservació del patrimoni i, probablement, la que ja compta amb més adeptes, és la difusió dels béns culturals. En aquest sentit existeix una quantitat innumerable d'aplicacions i possibles usos per tal de compartir models tridimensionals i aquí en presentarem tan sols una vista panoràmica.

³² Vegeu les notes al peu i col·laboracions.

APLICACIONS EN L'ÀMBIT DE LA CONSERVACIÓ-RESTAURACIÓ DE BÉNS CULTURALS

Si bé és cert que les possibles aplicacions de la fotogrametria i, per extensió, del disseny 3D en patrimoni s'acaben allà on arriben els límits de la nostra imaginació, és convenient remarcar que precisament per això l'objectiu en si no ha de ser mai la fotogrametria. Pot ser un error habitual que per la vistositat dels resultats, per l'efecte atractiu de tenir una obra d'art tridimensional al nostre ordinador o per la novetat que ens suposa en l'àmbit del patrimoni, entre tants d'altres factors, ens quedem en la fase de digitalització del model. Però convé destacar que la tècnica no és mai l'objectiu, sinó l'eina per a la seva fi. Es recomana partir sempre de la reflexió inicial sobre què es vol aconseguir i preguntar-nos si aquesta eina és la més adient per assolir-ho, o si seria més pertinent recórrer a altres tecnologies, o si, per contra, no és necessari en absolut obtenir un registre tridimensional de l'objecte, per exemple.

Una eina molt interessant és la capacitat d'inserir directament els models en un arxiu *pdf* a través de les eines de visió 3D que ofereixen les versions actuals d'Adobe Acrobat®, que ens permetrà compartir models de manera molt senzilla i amb molts complements de visualització interessants (control absolut per a la rotació de l'objecte per visualitzar-lo des de qualsevol angle, canvi entre vista projectada o ortogràfica, selecció de diferents textures de visualització, configuració de diferents vistes predeterminades, capacitat per generar seccions i talls, possibilitat de fer amidaments, etc.).

Tot i això, la gran revolució per a la difusió del patrimoni és la publicació dels models en plataformes en línia, ja que permet que qualsevol persona arreu del món pugui visitar i conèixer una obra d'art o bé cultural, fomentant la democratització del coneixement i trencant totes les barreres de la distància. En aquest sentit podem destacar les plataformes que, de la mateixa manera que YouTube® permet compartir vídeos, faciliten als usuaris (tant privats

³³ <https://sketchfab.com> [Consulta: 17 novembre 2017].

³⁴ <https://sketchfab.com/britishmuseum> [Consulta: 18 novembre 2017].

³⁵ <https://sketchfab.com/man> [Consulta: 18 novembre 2017].

³⁶ <https://sketchfab.com/maccvirtual> [Consulta: 18 novembre 2017].

³⁷ <https://sketchfab.com/banalesmuseovirtual> [Consulta: 18 novembre 2017].

³⁸ <https://sketchfab.com/macb3d> [Consulta: 18 novembre 2017].

³⁹ PITZALIS, D. [et al.] "3D techniques to create interactive virtual museums: The state of the art in the epoch noe". A: *2nd International Conference on Computer Graphics Theory and Applications* (2: 2007: Barcelona), Barcelona: INSTICC - Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication, 2007, p. 197-203. També disponible en línia a <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00839848/document> [Consulta: 18 novembre 2017].

⁴⁰ KERSTEN, T. P.; TSCHIRSCHWITZ, F.; DEGGIM, S. *Development of a virtual museum including a 4D presentation of building history in virtual reality. A: 3D ARCh - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures* (7: 2017: Nàuplia, Grècia). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLII-2/W3, 2017, p. 361-367. També disponible en línia a <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W3/361/2017/isprs-archives-XLII-2-W3-361-2017.pdf> [Consulta: 18 novembre 2017].

⁴¹ PATEL, M. [et al.] "Digitisation to presentation - building virtual museum exhibitions". A: HALL, P.; WILLIS, P. *Vision, video and graphics*. 2003, p. 1-8. Vegeu també WHITE, M. [et al.] "ARCO-An architecture for digitization, management and presentation of virtual exhibitions". A: *Proceedings of computer graphics* (2004, Hersonissos, Creta, Grècia). Los Alamitos, Califòrnia: IEEE Computer Society, 2004, p. 622-625.

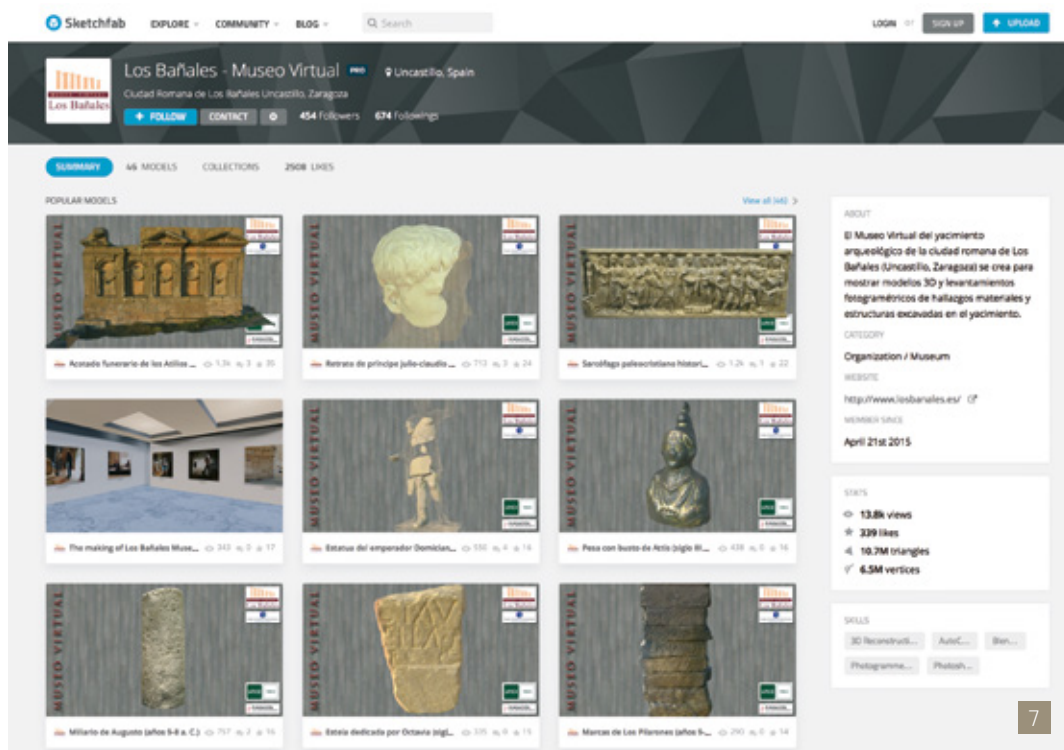
⁴² Una ortofotografia és una imatge en la qual s'han corregit les distorsions causades per la inclinació de la càmera, la deformació de l'òptica, la perspectiva i les diferències de la superfície del model. D'aquesta manera l'escala es manté constant i pot servir de base planimètrica per a la representació gràfica de l'objecte de manera fidel.

com institucionals) que comparteixin els seus models. Actualment, si bé no és l'única, la plataforma Sketchfab³³ té l'hegemonia en auspicar museus virtuals, probablement per les seves múltiples funcionalitats: permet als usuaris interactuar amb les obres, visualitzar-les amb diferents textures i també inclou una interfície per a la visió amb realitat virtual o eines d'interacció pròpies de les xarxes socials que completen l'experiència del visitant.

En l'àmbit internacional podríem destacar molts exemples de museus que compten amb la seva versió virtual en aquesta plataforma. Per esmentar-ne alguns d'imprescindibles hi ha els casos del Museu Britànic,³⁴ el Museu Arqueològic Nacional,³⁵ el Museu Virtual Alto de la Cruz (Cortes-Navarra)³⁶ o Los Bañales - Museo Virtual³⁷ entre tants d'altres. **7** A Catalunya l'eina s'està començant a implantar gradualment, en especial per part del Museu

d'Arqueologia de Catalunya.³⁸ Tot i això, encara són molt pocs els museus catalans que aposten per aquesta eina de difusió.

Hi ha altres sistemes alternatius que des de fa anys es plantegen també la difusió virtual de les col·leccions dels museus a través de plataformes pròpies.³⁹ S'han presentat casos pràctics d'institucions que han apostat per fer un pas més encara en aquesta línia i han desenvolupat museus virtuals "integrals" on el visitant pot visualitzar de manera digital tot el museu, passejant amb realitat virtual per les seves instal·lacions, gràcies a la combinació de fotogrametria, disseny 3D i motors de joc.⁴⁰ També és interessant esmentar la presentació d'objectes digitalitzats en galeries virtuals creades expressament per a l'ocasió, on destaquen les iniciatives emmarcades en el projecte ARCO,⁴¹ entre d'altres.



[7]. Vista de "Los Bañales - Museo Virtual" a la plataforma Sketchfab. L'usuari pot accedir a cadascuna de les obres que el museu presenta en aquest portal web per explorar-la en tres dimensions, visualitzar-la amb diferents textures, afegir comentaris i explorar altres funcionalitats (Imatge: Los Bañales - Museo Virtual).

SUPORT A LA DOCUMENTACIÓ I DIBUIX DE PLANIMETRIES

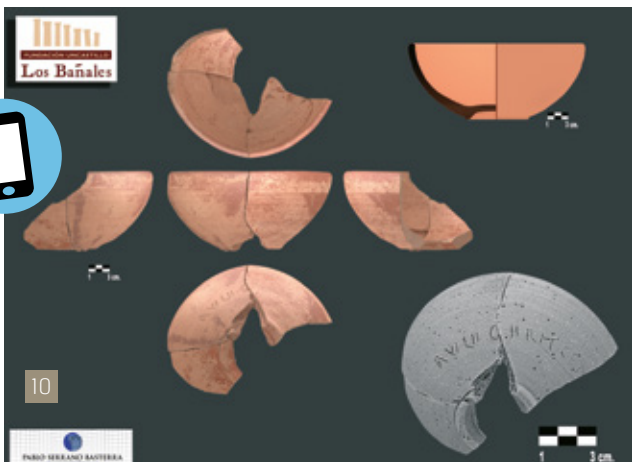
Una altra de les aplicacions que es poden fer de manera molt senzilla des dels mateixos programes de fotogrametria o amb altres programes de disseny 3D és l'obtenció d'ortofotografies⁴² dels models que s'han generat en diferents vistes: frontal, laterals, seccions, etc. Això ens facilitarà la documentació de base a l'hora de fer planimetries, tant d'amidaments com d'alteracions o altres ti-



8



9



10

[8]. [Esquerra] Ortofotografia que s'incorpora a les planimetries dels enteixinats de l'edifici vell de la Casa de la Ciutat (Ajuntament de Barcelona). [Dreta] Desplegament del mateix enteixinat per mostrar totes les vistes de les bigues policromades (Imatges: cedides per Jaime Salguero, autor del projecte).

[9] Model obtingut amb fotogrametria [Esquerra] del fragment de mainell de la portada de Sant Pere de Rodes del Mestre Cabestany conservat al Museu de l'Empordà. Al centre s'hi representa el desplegament ortogràfic de la columna que permet observar la decoració molt millor, i servir de base per al dibuix i emfatització dels seus elements [Dreta] (Imatges: cedides per Josep Giribet, autor del projecte. Podeu veure la seva

aparició al programa de TV3 *Art Endins*: <<http://www.ccma.cat/tv3/art-endins/fust-de-columna-sant-pere-de-rodes/fitxa/113917/>> [Consulta: 19 novembre 2017]).

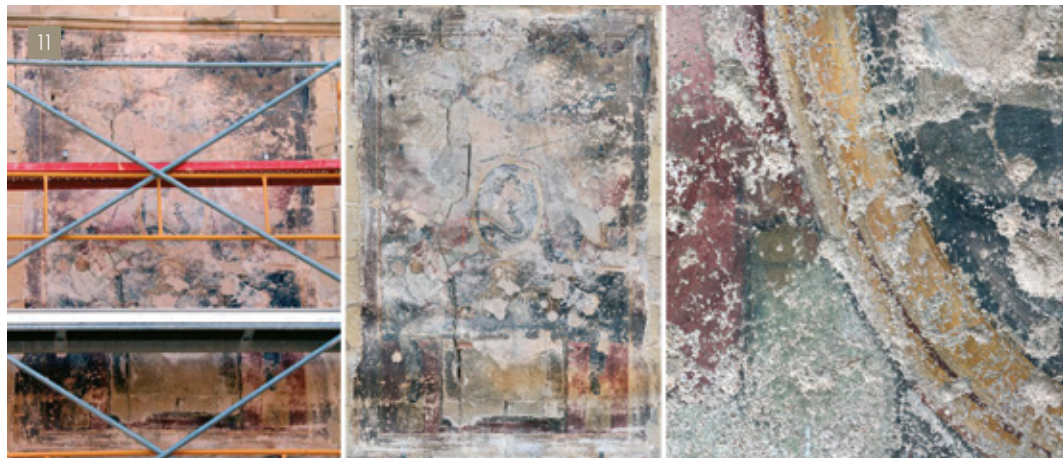
[10] Documentació d'una ceràmica arqueològica mitjançant fotogrametria que ha permès obtenir les ortofotografies de les diverses vistes, la seva secció i el detall epigràfic en el marc del "Plan de Investigación de la Ciudad Romana de Los Bañales". A partir de 387 fotografies d'alta resolució s'ha fet la fotogrametria dels tres fragments de l'objecte mitjançant Agisoft PhotoScan i, amb el programa de disseny 3D Blender®, se n'ha fet el muntatge que ha permès il·lustrar l'article de Javier Andreu i Inmaculada Delage per publicar la troballa a la revista *Ficheiro Epigráfico* (2017) núm. 152, p. 609. [En línia] <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6071691>> [Consulta: 19 novembre 2017] (Imatge: cedida per Pablo Serrano Basterra, autor del projecte).

pus d'informes gràfics. L'ús d'ortofotografies com a base per al posterior dibuix dels diversos tipus de mapatges pot revolucionar aquest procés, a part d'atorgar-li rigorositat, ja que permet el treball sobre una imatge a escala i sempre amb la textura fotorealista de fons. ⁸

Aquest ús és especialment indicat en el cas d'obres arquitectòniques o de més gran format, ja que és on amb més probabilitat la fotografia digital presentarà deformacions de perspectiva. Tot i això, cal indicar que en el cas d'objectes petits o amb volums complexos també és fonamental comptar amb ortofotografies de base, ja que serà l'única opció d'aconseguir imatges a escala i sense deformació de perspectiva per fer informes i presentacions de vistes que s'adeqüin de mane-

ra fidel a la realitat. A més a més, també ens permetrà desplegar la superfície d'àrees complexes, com absis o columnes. ⁹ El seu ús en dibuix arqueològic està molt estès i, en especial en objectes de revolució, permet obtenir seccions d'una manera molt àgil en diversos talls per comparar dades i aprofundir en el coneixement de l'obra. ¹⁰

D'altra banda, hem de valorar una opció complementària molt interessant i és que, partint de la fotogrametria, podem obtenir ortofotografies d'obres que, per exemple, es trobin obstaculitzades per elements annexos, com podria ser el cas d'una bastida. Si es té la precaució i prudència suficient a l'hora de controlar la il·luminació i l'obtenció de les fotografies, és possible que es puguin documentar objectes de gran superfície (com façanes o elements



[11]. Exemple pràctic en el qual es va utilitzar l'obtenció d'ortofotografies mitjançant la fotogrametria per permetre la documentació d'una obra de grans dimensions oculta per una bastida. Es tracta del mural dedicat a les Corts de Cadis de la façana de l'Ajuntament d'Horta de Sant Joan, actualment tapat per una reproducció. Al llarg d'una jornada es va extreure la còpia per valorar l'estat de l'original subjacent durant una visita del Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya. [Esquerra] Imatge amb la bastida col·locada. Amb l'ús d'Agisoft PhotoScan es va obtenir un model a partir de 441 fotografies fetes amb un iPhone 6S que va permetre extreure una ortofotografia [Centre] amb un elevat nivell de detall [Dreta] (Imatge: Anna Ferràs / ACN).

[12] Mapa d'alteracions d'una escultura de fusta policromada del segle XVIII que representa Sant Joan. El dibuix s'ha fet sobre un model digital obtingut amb fotogrametria i aquí se'n presenten les quatre vistes principals (Imatge: cedida per Mónica Sánchez, autora del projecte).

arquitectònics) sense que ens afectin negativament elements com fanals, arbres, senyals de trànsit o, com ja hem esmentat, bastides. ¹¹

Finalment, cal apuntar que combinar fotogrametria i programes de disseny 3D sota llicència, com Autodesk® 3ds Max, o bé programari lliure com Blender®, entre d'altres, ens pot obrir moltes més possibilitats de treball. Podria ser el cas de dibuixar els mapatges d'alteracions directament sobre el model en tres dimensions, especialment útil en objectes de volumetries complexes on la projecció de les vistes tradicionals a vegades no és suficient per presentar

la informació d'una manera prou clara. Treballar i presentar les alteracions directament sobre els models digitalitzats ens permetrà una observació tridimensional que ens pot facilitar la comprensió de les alteracions en conjunt i la seva interrelació en funció de la seva localització sobre l'obra d'art. ¹²

SUPORT A L'ESTUDI DE BÉNS CULTURALS

Un cop s'ha digitalitzat un model amb fotogrametria, hi ha múltiples aplicacions informàtiques que ens permetran estudiar-lo amb detall i obtenir informació complementària, sovint d'una manera molt més senzilla que no pas



13

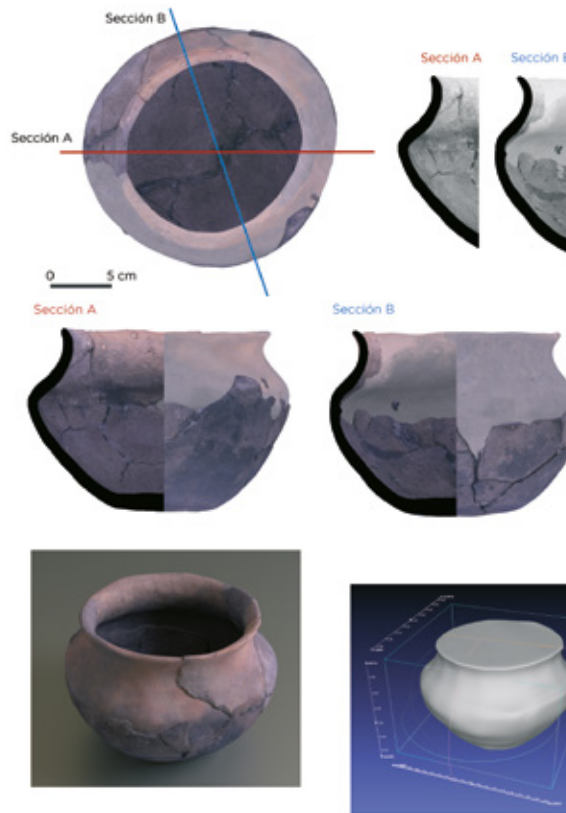
amb els sistemes tradicionals. Podria ser el cas de diverses aplicacions que ens permetran complementar l'estudi de les obres des d'una nova perspectiva, tot i que poden haver-n'hi moltes més:

- Amb eines informàtiques es poden fer **amidaments** exactes d'una forma extremadament senzilla des de qualsevol punt d'una obra, sigui de manera ortogonal o traçant línies complexes, paràboles i diagonals. Aquestes eines poden ser-nos útils a l'hora d'estudiar proporcions, per estudis estilístics, així com a l'hora de valorar possibles sistemes d'emalatges o de presentació, entre d'altres. ¹³

- A més a més, convé tenir en compte que es pot obtenir **seccions** per qualsevol tall que ens interessi, de manera que es podrà valorar la regularitat en objectes de revolució, per exemple, o bé determinar amb exactitud la deformació d'un objecte respecte a un pla imaginari. Així doncs, podrem analitzar l'aparició latent de possibles bosses d'aire en un parament que presenti deformacions o bé analitzar la irregularitat d'un paviment en qualsevol dels seus eixos, per exemple, ¹⁴ i els riscos associats per a la seva conservació que se'n desprenguin.

- També amb el suport informàtic ens serà extremadament senzill **calcular el volum** d'objectes complexos, com podria ser el cas d'escultures. Un cop coneguda aquesta dada, es podrà extreure de manera aproximada altra informació com, per exemple el pes d'un objecte, per poder preveure les dificultats de la seva manipulació futura. A més a més, ens permetrà calcular la capacitat d'objectes de revolució, una dada molt interessant per a la documentació d'aquest tipus d'objectes. ¹⁵

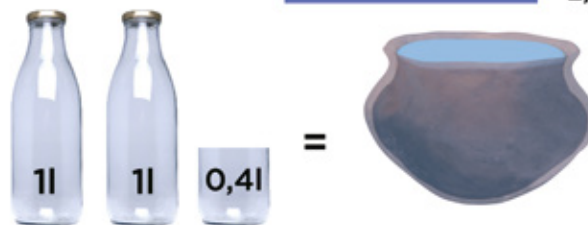
- D'altra banda, cal apuntar que de manera digital es pot **analitzar la superfície i la textura** d'un objecte combinant diferents tècniques.⁴³ Probablement ens serà més fàcil observar detalls incisos, pèrdues o aixecaments de policromia sobre una superfície, entre d'altres, quan col·loquem una textura neutra i no ens veiem influenciats per la textura i coloració originals de l'objecte. A més a més, de manera digital també es poden col·locar diversos sistemes d'il·luminació ra-



14

⁴³ PEREIRA, J. "Xshade, sombreado extremo en modelos 3D". [En línia] <<http://www.jpereira.net>> [Consulta: 21 novembre 2017].

Volumen:
0,002402 m³
Litros:
2,402 litros



15

[13] [Esquerra] Imatge d'un model obtingut amb fotogrametria del capítell del segle XIV amb les armes dels Tarroja i els Cardona provinent del Castellvell (Olius, Lleida). [Dreta] Vista del model amb textura neutra que facilita la comprensió dels motius decoratius i mostra la capacitat d'efectuar amidaments sobre el model digital (Imatge: Aleix Barberà).
[14] Estudi comparatiu de la secció d'un objecte ceràmic procedent de Cerro Bilanero (Imatge: extret amb permís de l'autor d'APARICIO RESCO, P. "Documentación 3D y restauración virtual de un recipiente cerámico de la Edad del Bronce". Blog PAR- Arqueología y Patrimonio Virtual <<http://parpatrimonio.com>> [Consulta: 21 novembre 2017]).
[15] Càlcul digital de la capacitat d'un objecte ceràmic procedent de Cerro Bilanero (Imatge: extret amb permís de l'autor d'APARICIO RESCO, P. "Documentación 3D y restauración virtual de un recipiente cerámico de la Edad del Bronce". Blog PAR- Arqueología y Patrimonio Virtual <<http://parpatrimonio.com>> [Consulta: 21 novembre 2017]).



[16] Model de la “Laxe dos Carballos” situada al Parque Arquelóxico da Arte Rupestre (Campolameiro, Pontevedra). [Esquerra] Ortofotografia en color. [Centre i dreta] Dues versions diferents d’una interpretació d’un model d’elevació (*Digital Elevation Model*, DEM) a les quals se’ls ha aplicat un mapa d’ombres o *hillshade* amb una il·luminació des de diferents angles i alçades, per tal de posar en relleu diferents aspectes de la superfície del model (Imatges: cedides per José Pereira - <www.jpereira.net>).

[17] Procés d’anastilosi virtual després d’obtenir la fotogrametria de cadascun dels 17 fragments localitzats de l’escultura de Sant Joan del grup del Sant Enterrament de Girona, atribuït per contracte al Mestre Aloi. Podeu veure’n una animació a: <https://youtu.be/5d0bR3NC7Ik> [Consulta: 19 novembre 2017] [Incloure RA?] (Imatge: Aleix Barberà).



⁴⁴ MARÍN, S.; CASTELL, P.; ALEGRIA, W. “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”. *Actes del III Congrés Internacional d’Història dels Pirineus. Andorra i la Seu d’Urgell*, 16-18 de juny de 2017 (en premsa).

⁴⁵ Recomanem veure l’animació del procés d’anastilosi virtual del sepulcre del canonge Mulet de Manresa que va fer Josep Giribet de l’empresa CALIDOS a <https://vimeo.com/103590562> [Consulta: 19 novembre 2017]. L’obra es va restaurar al Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya (CRBMC) per Albert Gaset i Violant Bonet sota la direcció de Pere Rovira.

⁴⁶ <http://www.danielgm.net/cc/> [Consulta: 19 novembre 2017].

sant que ens facilitarà la lectura d’aquests detalls. És una aplicació que es pot combinar amb l’ús de l’RTI (*Reflectance Transformation Imaging*),⁴⁴ tot i que en funció de la qualitat del model obtingut amb fotogrametria, amb aquesta tècnica es poden aconseguir resultats igual de precisos. ¹⁶

ANASTILOSI VIRTUAL

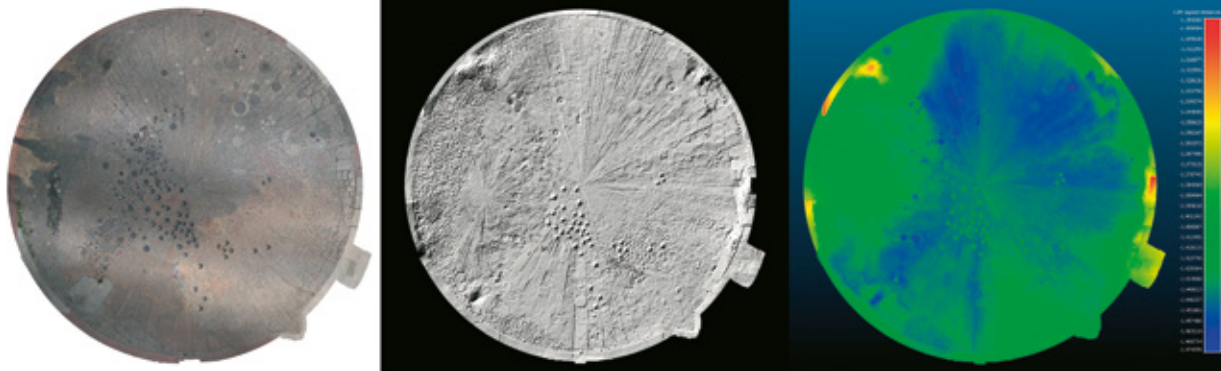
Probablement una altra de les possibles aplicacions de la fotogrametria seria la facilitat amb la qual ens permetrà identificar i registrar gràficament els processos d’adhesió en els casos de béns artístics que es presentin en estat fragmentari. Sovint aquestes qüestions queden vagament reflectides en cartografies d’alteracions i, en qualsevol cas, un cop s’han adherit els diversos fragments, no queda cap tipus de registre de la superfície interior. L’única manera de permetre l’accés i valoració d’aquestes superfícies internes després que s’hagin adherit és fer-ho amb suport informàtic, sempre que s’hagin digitalitzat prèviament, sigui mitjançant fotogrametria o altres tècniques.

Així doncs, és possible que, un cop s’ha fet la fotogrametria de tots els fragments que componen una obra, aquesta es pugui recompondre de manera digital. El treball amb programes de disseny 3D ens permetrà il·lustrar la complexitat del procés de restauració referent a l’anastilosi dels diversos fragments, sigui a partir d’animacions⁴⁵ o de *renders* més o menys complexos, en funció de l’interès documental que es pugui desprendre de cadascuna de les obres. ¹⁷

COMPARAR DIFERENTS MOMENTS D’UNA MATEIXA OBRA

Entre les eines informàtiques que es poden usar per extreure tota la utilitat possible als models obtinguts amb fotogrametria, actualment hi ha l’opció de comparar núvols de punts amb programari lliure, com podria ser el cas de l’aplicació CloudCompare⁴⁶ Aquest programa, com d’altres que ja s’han esmentat, ens serà útil a l’hora de fer operacions com l’obtenció de mides del model, així com de seccions o corbes de nivell de superfície. ¹⁸

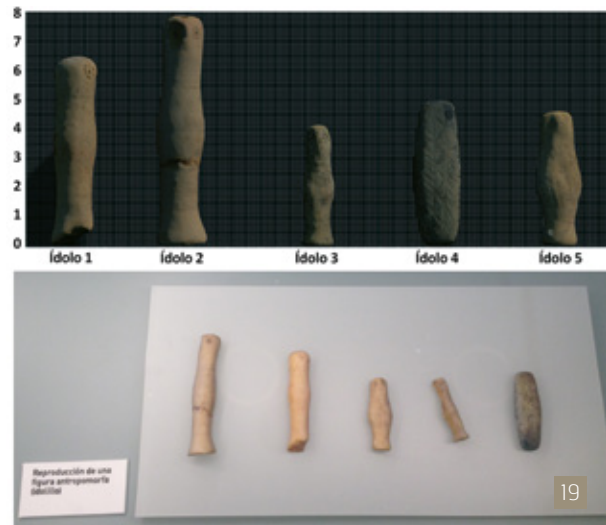
Tot i això, ofereix funcionalitats que poden anar més enllà d’aquestes eines que trobem també en altres programes



18

[18] [Esquerra] Ortofotografia del mosaic de Joan Josep Tharrats per a la plaça Roja de Badalona, un paviment de més de 600 m² en un espai públic. [Centre] Anàlisi del relleu de la superfície del paviment, que incorpora diversos materials i composicions. [Dreta] Mapa colorimètric d'alçades on s'observen clarament les zones on es pot estancar l'aigua, així com les empremtes de peces perdudes, entre altres alteracions (Imatges: cedides per Jaime Salguero, autor del projecte).

[19] Reproducció de cinc petits ídols de ceràmica per a l'exposició permanent de l'Alto de la Cruz al Castillo de Cortes (Navarra). Es van emprar els models fets amb fotogrametria d'aquestes obres [Dalt], incloses al museu virtual <<https://skfb.ly/YnKR>> [Consulta: 19 novembre 2017] per imprimir en 3D i en color les rèpliques (amb les mateixes textures fotogràfiques) [Baix]. Es tracta de cinc peces emblemàtiques que es troben exposades al Museu de Navarra (Pamplona) i que, per tant, no podien ser prestades (Imatges: cedides per Pablo Serrano Basterra, autor del projecte).



19

i, en especial, a l'hora de comparar núvols de punts d'un mateix objecte. Amb l'ús complementari d'aquestes eines és possible comparar dos núvols de punts d'alta definició d'una mateixa obra obtinguts amb fotogrametria o amb altres tècniques de digitalització en dos moments diferents de l'obra. Es pot contraposar així l'abans i després d'una intervenció de conservació-restauració o l'abans i després del préstec d'una obra a una altra institució, per exemple, per tal de garantir que no ha sofert cap tipus de dany.

D'aquesta manera es poden analitzar els canvis fortuïts que s'hagin pogut generar a la superfície en diverses escales de colors regulables. Seria molt útil, doncs, per valorar processos d'intervenció com l'extracció de concrecions superficials o per garantir que un procés de neteja ha respectat la superfície original d'un objecte, per exemple, així com per fer un seguiment d'obres exposades a la intempèrie i valorar així la seva possible degradació al llarg del temps. Si bé podem apuntar la possibilitat d'aquests usos, cal remarcar que només ens aportaran dades fiables en cas de treballar amb models d'alta definició i que encara hi ha molt poca bibliografia que presenti casos pràctics generats amb fotogrametria.⁴⁷

D'altra banda, quan es treballa amb models obtinguts mitjançant fotografies d'alta qualitat amb una correcta gestió del color, sempre podem comparar les ortofotografies obtingudes en diferents etapes d'una restauració. Probablement aquesta sigui una eina més propera a la que estem acostumats els conservadors-restauradors, habituats a comparar la fotografia inicial amb la final, tot i

que en aquest cas aprofitant els avantatges que proporciona el fet que aquestes imatges siguin ortofotografies.

REPRODUCCIÓ D'OBRES

La combinació de fotogrametria i impressió 3D pot oferir noves possibilitats per a la conservació del patrimoni, com ja fa temps que s'està investigant. Un cas paradigmàtic és el de la reproducció d'obres d'art, àmbit en el qual inicialment s'obtenien models i facsímils a partir de la digitalització mitjançant escàners làser i, encara prèviament, partint de l'emmotllament directe de l'original. Sembla evident que en l'actualitat aquesta darrera opció ha de quedar relegada pels sistemes que ens permetin obtenir còpies sense necessitat d'aplicar cap producte sobre l'obra original; si bé pot ser l'opció més econòmica i que probablement aconseguirà una resolució més detallada de la superfície i fidelitat, aquests avantatges no justifiquen l'agressivitat i el risc de l'operació en obres reals.

La fotogrametria ens ofereix una alternativa prou econòmica per a la digitalització i, en funció de la qualitat del model, ens servirà perquè pugui ser imprès en diferents tipus de materials segons la tecnologia que s'empri. Les reproduccions poden tenir finalitats diverses, entre les quals ens ha d'interessar especialment la d'obtenir facsímils de les obres més delicades. D'aquesta manera es podran exposar o cedir a altres institucions minimitzant el risc d'alteració dels materials originals o facilitant el préstec d'obres.¹⁹

⁴⁷ Es poden trobar casos d'exemples pràctics en línia a <<https://youtu.be/MQiD4HjhpAU>> [Consulta: 19 novembre 2017].

⁴⁸ Vegeu l'experiència sobre diversos casos de l'Smithsonian's Digitization Program Office a: <https://youtu.be/6ij4WtocR2U> [Consulta: 19 novembre 2017].

⁴⁹ DURAN, L.; JUTGLAR, N. "Aproximació a un sistema de reintegració volumètrica amb impressió 3D per a suports lignis". *Rescat* (2017), núm. 32, p. 36-39.

SISTEMES EXPOSITIUS I SUPORTS A MIDA

En combinació amb la temàtica anterior, la impressió de la reproducció d'una obra o del seu negatiu, en algunes ocasions, podria plantejar-se com a suport directe a treballs de conservació-restauració. Un cop s'ha digitalitzat una obra, es pot plantejar obtenir-ne una rèplica per facilitar treballs de desmuntatge de diversos fragments o per treballar damunt d'una superfície que s'adapti exactament a la de l'original. ^[20]

També ens pot ser molt útil la impressió del negatiu de la superfície dels objectes sobre espumes de polietilè o altres materials de conservació que ens puguin interessar. S'aconsegueix així l'empremta exacta sobre la qual podrà reposar un objecte a l'hora de fer-ne caixes de transport o sistemes d'emmagatzematge ⁴⁸ i es garanteix la perfecta adaptació d'una obra a la seva caixa o suport.

En aquest sentit, ens podrà ser útil aquest mateix sistema de treball per crear suports d'obres que es trobin fragmentades en la seva base i no es puguin sustentar correctament dempeus. Amb l'adequat registre de la zona de contacte es podrà modelar i imprimir després un sistema de suport que s'adapti perfectament a l'obra i en permeti garantir la seva estabilitat estructural.

REINTEGRACIÓ DE PÈRDUES

Una altra aplicació que combina fotogrametria amb impressió 3D és aquella que ens servirà per reintegrar volumètricament les pèrdues dels béns patrimonials. ⁴⁹ És especialment adient en el cas d'elements seriats, com cornises o motlures, o bé per a decoracions simètriques, on podrem invertir el model original per reintegrar pèrdues que puguin obtenir-se seguint un eix de simetria. És aquest el cas d'una reintegració sobre un bust atacat per Estat Islàmic provinent de Palmira que es podia adherir amb imants sobre l'obra original i que va saltar als mitjans de comunicació d'arreu. En aquest cas el model es va obtenir amb escàner làser, però l'essència seria la mateixa.

Actualment la fotogrametria pot competir amb l'escàner làser o la llum estructurada en l'obtenció del model per l'augment de les prestacions, tant en el programari com en els ordinadors i les càmeres de fotografia. A més a més, el desenvolupament de la impressió 3D ens permetrà optar per diversos tipus de materials i tecnologies (l'addició de fil, el sinteritzat, el fresat mecanitzat, etc.) amb tot tipus d'acabats disponibles al mercat. ^[21]

Tot i això, potser seria pertinent posar un senyal de precaució en aquest sentit. Ara com ara convindria comen-

[20] Amb motiu de la restauració de la imatge de l'àngel de Sant Miquel *in excelsis* d'Aralar (Navarra) [Esquerra], es va fer un model amb fotogrametria de l'ànima de fusta [Centre]. La digitalització es va realitzar basant-se en 414 fotografies, a partir de les quals, mitjançant l'aplicació RealityCapture, es va obtenir un model d'alta definició. Es va utilitzar com a eina documental i per imprimir en 3D [Creta] dues rèpliques en polímer PLA que es van emprar com a suport de les làmines metàl·liques del reliquiari per part dels conservadors-restauradors de l'obra (imatges: cedides per Pablo Serrano Bastera, autor del projecte).



20



[21] Reproducció d'elements decoratius mitjançant la seva digitalització amb fotogrametria i posterior impressió 3D amb filaments que contenen fibres de fusta. S'ha realitzat a l'especialitat de pintura i escultura sobre fusta del Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya (CRBMC) sobre les fornícules del retaule de Sant Cristòfol de Toses (Ripollès), del segle XVIII. [Esquerra] Detall d'un dels elements digitalitzats i la seva impressió [Centre]. Vista general de les reintegracions impreses col·locades al retaule un cop estucades [Dreta] (Imatges: cedides per Laia Duran Vila i Núria Jutglar Álvaro, autores del projecte).

[22] Diverses fases de la reintegració i recreació virtual d'un objecte ceràmic procedent de Cerro Bilanero (Imatge: extret amb permís de l'autor d'APARICIO RESCO, P. "Documentación 3D y restauración virtual de un recipiente cerámico de la Edad del Bronce", Blog *PAR-Arqueología y Patrimonio Virtual* <<http://parpatrimonio.com>> [Consulta: 21 novembre 2017]. Podeu visualitzar el model a <<https://skfb.ly/IAIt>> [Consulta: 19 novembre 2017] o veure un vídeo sobre el procés a <<https://youtu.be/S8QlxaZ3Ui4>> [Consulta: 19 novembre 2017]).



çar la recerca sobre la compatibilitat d'aquests materials d'impressió amb els diversos tipus de materials originals dels objectes artístics, la valoració del seu envelliment i de la relació de cost-preu que tenen encara ara la majoria de sistemes d'impressió. Entre els diversos interrogants que ens pot plantejar l'ús de les tecnologies digitals en patrimoni per la manca d'un corpus ètic prou consolidat, convé ser especialment estrictes quan l'àmbit digital es trasllada a l'esfera física i entra en contacte amb l'obra real.

RESTAURACIÓ I RECREACIÓ VIRTUAL

Els models tridimensionals obtinguts amb fotogrametria poden utilitzar-se com a base per a tot tipus de treballs amb programes de disseny 3D, on és molt habitual l'execució de restauracions i recreacions virtuals. Són dos termes molt recurrents en l'àmbit digital del patrimoni i presenten alguns matisos segons es recullen als *Princi-*

pis de Sevilla. Tot i això, probablement la incorporació de professionals conservadors-restauradors a l'àmbit digital pugui ajudar a afinar, en un futur, la terminologia referent a aquestes qüestions.

Així doncs, és molt habitual presentar reintegracions virtuals de zones perdudes ²² o la recreació d'escenes molt més complexes, tant de paisatges, com de monuments arquitectònics, escenes quotidianes o fins i tot reconstruccions facials de cranis, per posar alguns exemples. En tots aquests casos es pot partir de models obtinguts mitjançant fotogrametria que s'hauran de combinar forçosament amb recursos de nova creació basats en el modelatge tridimensional amb programes específics. Solen emprar-se amb finalitats didàctiques i interpretatives





[23] [Baix] Recreació virtual de la possible policromia medieval d'una imposta esculturada de la portada de l'església de Santa Maria de Vilagrassa (Lleida). [Dalt] Ortofotografia del model obtingut amb fotogrametria (Imatges: cedides per Josep Giribet, autor del projecte). Podeu veure el procés digital a <<https://vimeo.com/197969650>> [Consulta: 19 novembre 2017] i visualitzar el model a <skfb.ly/XLdQ> [Consulta: 19 novembre 2017]. Més informació a <<https://blog.sketchfab.com/art-spotlight-romanesque-polychrome-simulation/>> [Consulta: 19 novembre 2017].

i faciliten enormement la comprensió dels objectes, els seus usos i el seu context.

Una altra opció molt interessant en aquest aspecte és la de poder recuperar, de manera hipotètica, la superfície pictòrica original dels objectes que l'han perduda. És una degradació molt recurrent en materials de procedència arqueològica o en obres medievals, dels quals sabem pels estudis històrics que era molt habitual que fossin policromats i que, malauradament, no han conservat més que indicis de color. La combinació d'estudis històrics i l'anàlisi dels materials originals ens pot conduir a recrear hipòtesis de l'aspecte que tot tipus d'obres d'art haurien pogut tenir en origen. ²³

gies de realitat augmentada ²⁴ o *videomapping*.⁵⁰ És possible que en un futur no molt llunyà entre els criteris de reintegració que emprem els conservadors-restauradors hàgim d'incorporar aquesta metodologia que,



[24] Visió amb realitat augmentada de la recreació virtual d'una hipotètica policromia medieval a la imposta esculturada de la portada de Santa Maria de Vilagrassa (Imatge: cedida per Josep Giribet, autor del projecte).

⁵⁰ Vegeu el cas paradigmàtic del projecte <<http://pantocrator.cat>> [Consulta: 19 novembre 2017] que més enllà de restituir unes pintures murals arrencades en el seu emplaçament original, en fa una proposta de recreació narrativa projectada amb *videomapping*.

REINTEGRACIONS AMB REALITAT AUGMENTADA O VIDEOMAPPING

De manera complementària a tots els treballs de recreació virtual és interessant tenir en compte que no tan sols es poden presentar en infografies, animacions o imatges per documentar les obres, sinó que es poden aplicar directament sobre elles mateixes amb estratè-

de ben segur, és la menys invasiva de totes. Probablement estem parlant d'un nou sistema de reintegració (tant matèrica com cromàtica) que se circumscriu en la més estricta "mínima intervenció" i que en qualsevol cas es pot reinterpretar en qualsevol moment si apareixen noves informacions o canvien els criteris d'intervenció sense necessitat d'actuar sobre l'obra.²⁵

[25] [Esquerra] Mosaic de la Perduu, provinent del jaciment arqueològic d'Empúries i exposat al Museu d'Arqueologia de Catalunya - Empúries després del procés de restauració dut a terme al Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya. [Centre] Restauració virtual d'un possible cromatisme original segons la imatge anterior i [Dreta] reintegració hipotètica de les diverses pèrdues. Si s'observen mitjançant realitat augmentada cadascuna de les imatges, es veu en pantalla la imatge reintegrada [Incloure RA?] (Imatges: Ramon Maroto/CRBMC i Aleix Barberà).



D'aquesta manera, qualsevol persona dotada amb un dispositiu mòbil pot visualitzar sobre un monument una proposta de reintegració o recreació virtual modelada amb anterioritat, així com continguts complementaris,⁵¹ o bé projectar-los sobre la superfície.⁵² Podríem evitar reintegracions excessivament intervencionistes, en especial en el cas de projectes arquitectònics sobre jaciments arqueològics, complementant treballs de consolidació des de projectes de conservació-restauració amb projectes interpretatius i didàctics amb realitat augmentada.⁵³

A més a més, la unió de fotogrametria i realitat augmentada és ideal per promoure la difusió d'objectes no accessibles. La casuística pot ser múltiple: un risc excessiu per a l'exposició de l'objecte o la seva manipulació, impossibilitat de cedir béns de manera temporal o definitiva a altres institucions o l'interès per mostrar obres inaccessibles (abrics, elements arquitectònics de difícil accés, etc.). Vistos els avenços tecnològics dels darrers anys, no es creu que sigui escabellat pensar que d'aquí a poc temps visitarem exposicions on el focus principal siguin obres i tot tipus de continguts didàctics en realitat augmentada, visibles amb el mòbil o amb tauletes digitals.⁵⁴

CONCLUSIONS

La fotogrametria digital terrestre de curt abast és una tècnica amb una llarga tradició al darrere que presenta moltes possibilitats en l'àmbit del patrimoni i recentment s'està incorporant també al camp de la conservació-restauració de béns culturals. Gràcies a l'evolució vertiginosa dels programes informàtics, així com dels equips, s'ha facilitat l'accés a usuaris amb perfils professionals

diversos per adaptar-la a noves necessitats. És una eina que, a priori, ens serveix per digitalitzar objectes i obtenir-ne el registre tant del volum com de la textura, fet que la distingeix d'altres sistemes de digitalització com la llum estructurada o la majoria d'escàners làser.

Però la digitalització de les obres és tan sols un primer pas per explotar les possibilitats del 3D en conservació-restauració. Ens pot servir per aprofundir en el coneixement tècnic d'una obra (càlcul de pes, volum, dimensions), per analitzar la seva morfologia (anàlisi de la textura superficial, obtenció de seccions en qualsevol eix), per obtenir un registre documental exacte de l'obra que podrà ser contrastat en qualsevol moment i analitzar, així, les seves variacions o deformacions (després d'un préstec, després d'una intervenció de restauració, per valorar la degradació d'una obra a la intempèrie en un període determinat de temps, etc.) i, a més a més, ens pot ser molt útil com a suport per a la documentació, amb l'obtenció d'ortofotografies.

D'altra banda, i en combinació amb la impressió 3D, la fotogrametria ens permet obtenir còpies sense la necessitat d'aplicar cap material sobre l'obra original, fins i tot reproduint la textura original de l'objecte, si es vol. A més a més, ens pot servir per reintegrar pèrdues d'elements seriats o simètrics que s'hagin conservat parcialment (cornises, motllures, etc.) en diversos tipus de materials, en funció de l'estabilitat i compatibilitat que sempre s'hauran de valorar. O, per contra, l'empremta digitalitzada d'una obra ens pot servir per obtenir caixes d'emmagatzematge o suports que s'adaptin perfectament a la seva superfície

⁵¹ VLAHAKIS, V. [et al.] "Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological sites". *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 22 (2002), núm. 5, p. 52-60.

⁵² PERAL, R.; SAGASTI, D.; SILLAURREN, S. "Virtual restoration of cultural heritage through real-time 3D models projection". A: MUDGE, M.; RYAN, N.; SCOPIGNO, R. [eds.] *The 6th international symposium on virtual reality, archaeology and cultural heritage VAST*, Pisa: Eurographics Association, 2005.

⁵³ ESCLAPÉS, J. [et al.] "Sistema de realidad aumentada para la musealización de yacimientos arqueológicos". A: *Virtual archaeological review*, Vol. 4 (2013), núm. 9, p. 42-47.

⁵⁴ ZÖLLNER, M. [et al.] "An augmented reality presentation system for remote cultural heritage sites". A: DEBATTISTA, K. [et al.] [eds.] *The 10th international symposium on virtual reality, archaeology and cultural heritage VAST*, Aire-la-Ville: Eurographics Association, 2009.

original, per complexa que sigui i amb qualsevol tipus de material de conservació que ens pugui interessar.

Més enllà, la combinació de la fotogrametria amb el posterior tractament dels models amb eines de disseny 3D i realitat augmentada ofereix als conservadors-restauradors noves perspectives des del marc de la mínima intervenció per reintegrar les obres d'art, tant volumètricament com cromàticament, i explorar al màxim la presentació de nous continguts didàctics i hipòtesis.

Tot i això, hem de reconèixer que aquestes i moltes altres aplicacions hauran de ser incorporades al camp de la conservació-restauració amb prudència i acompanyades d'una justificació i reflexió teòrica i deontològica prèvies que valorin amb profunditat la idoneïtat del seu ús. Més enllà de la *Carta de Londres* o els *Principis de Sevilla*, creiem que els conservadors-restauradors ens hem d'incorporar en la formulació d'un cos teòric que conjumini les aplicacions de la fotogrametria i la restauració virtual amb els principis i criteris establerts de conservació-restauració.

D'aquesta manera és possible que se'ns obri un nou marc d'actuació i de professionalització, possiblement una especialitat nova o, almenys, un complement a la formació acadèmica tradicional a la qual s'haurà de donar resposta. A Catalunya, institucions com l'ESCRBCC o el CRBMC hauran d'analitzar la millor manera d'acompanyar el procés, que permeti incorporar el treball en 3D de manera normalitzada com a complement i suport a les tasques de conservació-restauració, sempre que pugui suposar un benefici.

No hem d'oblidar, però, que la fotogrametria és tan sols una eina per digitalitzar obres d'art i que les opcions de treball posteriors són pràcticament infinites. Tot i aquestes possibilitats, hi ha moltes qüestions referents a l'obsolescència dels programes i formats, així com a l'emmagatzematge de les dades obtingudes i a l'ètica i metodologia del seu ús, a les quals haurem de trobar respostes. Però per això cal que primer vinguin les preguntes.

COL·LABORACIONS I AGRÀIMENTS (ORDRE ALFABÈTIC)

Pablo Aparicio Resco, KORÉ. Formació online en patrimoni y tecnología. Web: <<https://koreformacion.com>>.

PAR - Arqueología y patrimonio virtual. Web: <<http://www.parpatrimonio.com>>

Laia Duran Vila. Web: <www.craquelada.com>

Josep Giribet, CALIDOS. Web: <www.calidos.cat>. Correu electrònic: info@calidos.cat

Núria Jutglar Álvaro. Correu electrònic: nuria.jutglar@gmail.com

José Pereira. Web: <www.jpereira.net>

Pere Rovira (Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya)

Jaime Salguero. Web: <www.jaimesalguero.com>

Mónica Sánchez. Correu electrònic: msanchezy2015@gmail.com

Pablo Serrano Basterra, professor d'extensió universitària de la Universitat de Burgos. Dossier de docència web: <<http://pabloserranobaster.wixsite.com/portfolio>>. Correu electrònic: pabloserranobasterra@hotmail.es