



Les noves tecnologies i la restauració monumental.

Aplicació per a la conservació i catalogació
de béns culturals

Vicent-Juli Iborra Mondéjar
vicent.iborra@alumail.uji.es

I. Resum

Durant els últims quinze anys, les noves tecnologies aplicades a tots els àmbits han seguit un procés d'evolució ràpid i imparable, que fa variar en períodes de temps breus els mètodes de treball i fins i tot les nostres maneres de comportament (Anderson, 2012). En el cas concret de les tecnologies aplicades al disseny i l'art, sorgeix en moltes ocasions la polèmica entre la mecanització de processos en detriment del treball artesanal. La realitat mostra que és necessària una combinació de tots dos, ja que la creativitat sempre partirà de la mà (cap) humana, però aquesta, ajudada per una utilització correcta de les tecnologies es convertirà en una eina potent per a materialitzar idees i obtenir millors resultats.

Aquest treball de recerca es basa en l'estudi de diferents eines digitals com a recurs per al treball amb obres monumentals susceptibles de ser impreses en 3D. L'experimentació sobre la combinació de les solucions d'escaneig 3D i l'enginyeria inversa ens permet cloure el treball sobre la possibilitat de restauració virtual i real, facsímil i ampliació o reducció de còpies. També com a eina per a la realització d'una base de dades virtual enfocada a la conservació i restauració de béns culturals. En definitiva, la digitalització 3D per a museus virtuals (en línia o en espais físics), que dona com a resultat una mena de Viquipèdia amb llibreries 3D d'objectes d'obres d'art i monuments a l'abast de tothom.

Paraules clau: restauració, catalogació, conservació, béns culturals, escàner 3D, software 3D, impressió 3D.

II. Introducció

La conservació i restauració d'objectes d'art ha estat sempre una disciplina dedicada a la revisió i l'adopció de mesures relatives a protegir els béns culturals. La missió és la protecció del patrimoni cultural material alhora que garanteix l'accessibilitat a les generacions presents i futures. Aquest procés abasta la catalogació, conservació i restauració. Totes aquestes mesures i accions han de respectar les propietats de significació i físiques dels béns culturals. Per això, la catalogació posterior dels objectes té un doble sentit: donar a conèixer l'obra original i preservar-la d'exposicions excessives davant el públic en general. Per això la realitat augmentada o RA té un paper principal en el futur dels museus. Consisteix en un dispositiu que afegeix informació virtual a la informació física ja existent, és a dir, afegeix una part sintètica virtual a la real. Notícia (UPV, 2016) d'aquesta tecnologia la tenim al Museu Arqueològic de Borriana: investigadors de la Universitat Politècnica



de València, de l'Institut d'Automàtica i Informàtica Industrial han desenvolupat dos sistemes per a reconstruir peces arqueològiques amb realitat augmentada i obtenir-ne així informació impossible de veure a simple vista. Els sistemes de realitat augmentada ja han estat provats amb visitants del museu. Aquesta tècnica permet, a través d'una tauleta o mòbil, o unes ulleres especials (segon sistema) que el visitant pugui veure completament una peça del museu que continga algun fragment incomplet.

Una part important del procés de tractament d'objectes convertits en imatges 3D és el d'escanejat. Com a exemple d'aquest procés hi ha el projecte *Visionary Cross* (Project V., 2016), projecte d'investigació internacional i multidisciplinari amb l'objectiu principal de desenvolupar un nou tipus d'arxiu digital i d'edició de textos i objectes associats amb la tradició de la creu de pedra anglosaxona. Aquí s'està realitzant un treball teòric i pràctic centrat en la creació d'una base de dades digital, amb representació de textos i objectes del patrimoni d'interès artístic i cultural.

Actualment, sota aquest projecte s'estan escanejant els objectes i monuments més estudiats i més populars del període anglosaxó com ara la Creu de Ruthwell, la Creu de Bewcastle i la Creu de Brussel·les. El projecte ha estat finançat pel Consell d'Investigació en Ciències Socials i Humanitats (SSHRC, agència canadenca federal d'investigació), la Universitat de Lethbridge (Canadà), la Universitat de Leeds (Anglaterra) i la Universitat de Torí (Itàlia). El projecte està dirigit per un equip internacional d'investigadors format pels següents: James Graham, Catherine Karkov, Daniel Paul O'Donnell, Wendy Osborn, Dot Porter i Roberto Rosselli Del Turco.

La Creu de Ruthwell (Saxl, 1943) és una creu de pedra del segle VIII. Ruthwell, actualment Escòcia, formava part del regne de Northumbria. La creu és, possiblement, l'escultura monumental anglosaxona més famosa. La creu de Ruthwell fa 5,5 metres i mostra els relleus figuratius anglosaxons més grans que s'han trobat (BBC, 2014). El monument té una inscripció en alfabet rúnic, probablement el fragment de poesia anglesa (anglès antic) més antic que es conserva. A l'època dels iconoclastes presbiterians va ser deteriorada i pràcticament destruïda, però en 1818 va ser restaurada per Henry Duncan. Aquest, ministre (espècie de pastor protestant) escocès, geòleg i reformador social, va restaurar el monument ignorant-ne el context real, motiu pel qual és molt criticat. La creu es trobava a l'altar de l'Església però en 1887 va ser traslladada a la ubicació actual on se li va construir un absis especial amb un pis inferior per a poder-la contemplar millor fins als detalls més alts. Però, tot i així, estudiar el monument és complicat, ja que algunes parts són de difícil accés. Per això, el projecte original de Roberto Rosselli del Turco (O'Donnell, 2012) es va basar en imatges estàtiques que formaven part d'exploracions gairebé completes del monument

realitzades amb el programari MeshLab (Leoni et al., 2013). Amb la figura escanejada, els investigadors van poder prendre mides al mil·límetre sobre la representació geomètrica de la creu. A més, el model virtual permet contemplar la creu d'una manera impossible a la vida real, fins i tot disposant de bastida. D'aquesta manera el treball amb models 3D millora l'experiència de treballar amb fotos o captures de pantalla.

Així, per mitjà d'aquesta nova tecnologia s'obri tot un ventall de possibilitats:

- Digitalització 3D sense contacte amb les escultures, com hem vist anteriorment pot obrir la porta al tractament posterior d'arxius 3D per tal de, mitjançant enginyeria inversa, reparar i completar objectes de patrimoni artístic. El procés pot formar part d'una restauració virtual o fins i tot real, imprimint primer una rèplica i veient el seu comportament en models amb un material diferent a l'objecte original (generalment plàstic o cera) o fins i tot la realització de rèpliques del mateix material original mitjançant motlles.
- L'escanejat 3D d'objectes també pot ser molt útil per a treballs d'arqueologia. L'escanejat a color sense contacte de fòssils i objectes al lloc d'origen, pot permetre la reconstitució i reproducció sense danyar originals.

La restauració arquitectònica també pot tenir un espai important en la nova tecnologia, d'aquesta manera també es pot utilitzar enginyeria inversa per a la reproducció de maquetes virtuals o impreses que poden ser ampliacions o reduccions a escala de models arquitectònics; el digitalitzat de peces 3D per a museus virtuals, on els objectes d'art escanejats poden formar part de presentacions multimèdia, o la realització de museus virtuals (físics o en línia). D'aquí al desenvolupament d'una espècie de Viquipèdia on les fonts monumentals es poden consultar en arxius tridimensionals, susceptibles de ser impresos en impressores 3D domèstiques només hi ha un pas. Però abans cal plantejar-se dues preguntes que són el punt de partida d'aquest treball de recerca. La primera és sobre l'existència de tecnologia, a preus assequibles que permeten realment l'escanejat i el tractament de monuments a qualsevol usuari des de casa, i la segona, sobre l'existència en l'actualitat d'una cosa semblant en llibreries virtuals d'objectes 3D, de reproduccions de monuments descarregables en línia i de manera gratuïta.

III. Objectius

- Cerca de l'abaratiment de costos de la restauració estatuària i arquitectònica.

- Estudi sobre diferents eines i recursos enfocats a la conservació i restauració de béns culturals.
- Estudiar la tècnica necessària per a la realització de catàlegs virtuals tant de peces de disseny realitzades per alumnes d'escoles d'art, com d'obra amb valor artístic i cultural.
- Estudi del foment de la difusió de la reproducció digital.



IV. Material i mètode

La investigació s'ha basat en la recerca mitjançant Internet i l'experimentació amb les diverses tecnologies esmentades en el text.

Experimentació amb materials de modelatge tradicional i noves tecnologies de processos d'impressió 3D.

El pla de treball ha estat:

- a) Anàlisi bibliogràfica de fonts documentals: anàlisi i revisió de marcs teòrics, investigacions prèvies disponibles, etc.
- b) Anàlisi documental: anàlisi de revistes i de llibres que tracten sobre el tema (en Internet i altres tipus de mitjans). Ha estat d'especial ajuda el programa Mendeley i la connexió VPN de l'UJI (Universitat Jaume I) de Castelló.
- c) Anàlisi sobre la complexitat tecnològica dels processos estudiats.
- d) Valoració, avaluació i validació dels materials.
- e) Extracció de conclusions basades en les fases especificades anteriorment.

V. Resultats

Els resultats en aquesta investigació han estat satisfactoris des de dos vessants, el de l'aspecte econòmic i el de l'aspecte professional. Així, s'ha pogut comprovar que, amb pocs diners, eines que a primera vista podrien ser assequibles només a grans empreses, corporacions o institucions de recerca amb molts recursos, es poden aconseguir per un mòdic preu. A més, aquestes ofereixen resultats força acceptables, que no tenen res a envejar als de sistemes d'escanejat i impressió d'altres temps. Sobta comprovar com projectes que es van originar fa tan sols nou anys, van sorgir amb tecnologia i escàners que només eren a l'abast de grans corporacions o institucions acadèmiques amb molts recursos. Actualment la revolució *maker*, del «fes-t'ho tu mateix», ha provocat una baixada

de preus que fa molt més assequible aquesta tecnologia a un nombre més gran de persones.

Sí que és cert que per a obtenir un escanejat de resolució amb precisions que van per sota d'un mil·límetre ja el desemborsament econòmic ha de ser important. Tot i així, els preus no tenen res a veure amb els d'aquestes mateixes eines, que fa cinc anys tenien molta menys definició. És el cas de l'escàner de l'empresa Artec Eva (Artec, 2016), que, amb un preu de 6.700 €, fa un tractament exhaustiu de la geometria capturada. Ara bé, si es vol capturar la textura de l'objecte amb tots els colors, el desemborsament econòmic serà més gran, estarem parlant de 13.700 €. I això ja sobrepasa els pressupostos domèstics. Tanmateix, l'escanejat d'objectes amb geometria complexa fa anys era un procés que requeria dies o fins i tot setmanes per ser completat. Ara això es pot fer en qüestió de minuts amb un escàner de mà com el de l'empresa XYZPrinting (Trieu, 2014). L'empresa ha desenvolupat un escàner que, per 186 € (PC-Componentes, 2016), pot capturar ràpidament gairebé qualsevol objecte, amb increïble precisió. El model 3D que en resulta es pot exportar a una varietat de programes CAD & CAM i des d'aquí calibrar i modificar per millorar-ne el disseny i imprimir-lo.

Per tant, ens preguntem el següent: existeix una nova tecnologia, a preus relativament assequibles o de codi obert, que permeta una restauració virtual de monuments i objectes d'art considerats béns d'interès cultural?

Heus aquí els resultats a la qüestió:

RECURSOS PER A LA RESTAURACIÓ VIRTUAL

Maquinari (escàners 3D)

Escàner de mà 3D	Escàner 3D plataforma rotativa	Sensor 3D
XYZPrinting Escàner (des de 180 €)	Escàner BQ Ciclop (des de 240 €)	Asus Xtion Pro Live (des de 206 €)
Artec Eva (des de 6.700 € programari no inclòs)	Escàner 3D Pro (des de 895 €)	Sensor Structure (des de 357 €)

Maquinari (impressores 3D)

Tecnologia FDM	Estereolitografia	Tecnologia SLS
Bq Hephestos (des de 549 €)	Escàner BQ Ciclop (des de 240 €)	Lisa SLS (des de 4.698 €)
BCN 3D+ (des de 900 €)	Escàner 3D Pro (des de 895 €)	Sintratec Kit (des de 5.000 €)



De les taules anteriors es desprèn que no requerirem un maquinari excessivament car per a escanejar un objecte de mida mitjana. L'escàner Ciclop de l'empresa BQ (I. 3D, 2016), per 240 € ens permet, gràcies a la plataforma rotativa, escanejar objectes de mida petita (BQ, 2016). Un altre escàner de plataforma rotativa és el 3D Pro (Tresding, 2016) de l'empresa Tresding amb un preu de 895 €.

Altres estris que poden fer perfectament la funció d'escàner són els sensors de moviment per a les videoconsoles. De la marca Asus, hi ha un sensor molt pràctic, el Xtion Pro Live (Asus, 2016), per 206 €, amb el programari adequat pot fer perfectament la funció d'escàner 3D. Un altre sensor de moviment directament orientat a fer la funció d'escàner, i clarament dissenyat per les tauletes d'Apple, és el sensor Structure de l'empresa Occipital (Occipital, 2012), per un preu de partida de 357 €, i l'usuari final disposarà d'un escàner compacte i adaptable a la tauleta.

Ja hem vist que hi ha tot un ventall d'escàners més o menys professionals que poden formar part de l'enginyeria inversa que fa possible crear un model virtual 3D, analitzar-lo i fins i tot imprimir-lo. El procés d'enginyeria inversa implica prendre mides a un objecte i després reconstruir-lo com un model 3D. L'objecte físic pot mesurar-se utilitzant tecnologies d'escaneig 3D, escàners làser, digitalitzadors lleugers estructurats o tomografia computada industrial. Les dades mesurades, generalment, es representen com un núvol de punts, no tenen informació topològica i, per tant, sovint es processen i modelen en un format més utilitzable, com una malla triangular.

Els processos de treball, conservació i arxiu de peces arquitectòniques i la conservació d'obres d'art han canviat de manera dràstica en els últims anys, amb la tecnologia de digitalitzat 3D portàtil. Encara no s'ha determinat l'abast total de la tecnologia de digitalitzat 3D amb les tècniques de restauració de patrimoni artístic i dia rere dia es descobreixen noves aplicacions. Una vegada escanejat l'objecte, la fase d'alineació de dades 3D (també coneguda com a registre) és un pas fonamental en el procés de tractament de dades escanejades en 3D. En aquesta fase es mouen les diferents malles en un sistema de referència comú, capaç de gestionar un gran conjunt de mapes de punts. Hi ha diferents solucions de programari per a l'alineació de malles i núvols de punts procedents de diverses fonts, incloent-hi escàners actius. Una d'aquestes és MeshLab (Cignoni i Ranzuglia, 2016). Es tracta d'un sistema avançat de processament de dades 3D, orientat a la gestió de malles no estructurades, que proporciona un conjunt d'eines per a editar, netejar, reparar, inspeccionar i renderitzar malles. MeshLab és programari lliure i de codi obert, amb llicència GNU (GPL o Llicència Pública General).

MeshLab ha estat Desenvolupat per l'Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Informazione ISTI, dins del Visual Computing Lab. Inicialment, MeshLab es va crear com a activitat d'un curs a la Universitat de Pisa a finals de 2005. Actualment dona diverses solucions per a reconstruir la forma d'un objecte, que van des de la volumètrica (Marching Cube) fins a les superfícies implícites (Screened Poisson) (Kazhdan i Hoppe, 2013). A més, el programa ofereix una sèrie de filtres automàtics, semimanuals i interactius per a eliminar aquells elements geomètrics generalment considerats «erronis» per la major part de programaris i algoritmes. És possible eliminar errors topològics, vèrtexs duplicats i no referenciats, petits components, cares degenerades o intersectades, i moltes més singularitats geomètriques i topològiques (Cignoni et al. 2008). Utilitzant diferents mètodes de selecció automàtica i interactiva és possible aïllar i eliminar àrees no desitjades de les malles i núvols de punts.

Meshmixer és un altre gran programa que corregeix la malla d'un objecte i la prepara per a ser impresa (Autodesk, 2016). El programari es va llançar per primera vegada el 29 de novembre de 2009. Aleshores, Meshmixer feia un tractament d'objectes molt bàsic i, per tant, fàcil de fer servir. En els darrers set anys, a mesura que el programa ha anat fent-se més complex i la base d'usuaris ha anat creixent, s'han creat fòrums i desenes de milers d'estudiants, dissenyadors, enginyers i aficionats al 3D s'han adonat de la potència del programari.

Una de les funcions més potents de Meshmixer és la de reduir la complexitat geomètrica d'objectes, creant una geometria amb la mateixa forma però amb menys triangles. El programa ofereix diferents maneres de simplificar superfícies triangulades, les quals preserven el detall geomètric on es pot reduir selectivament el nombre de polígons mitjançant selecció. En altres casos, l'usuari pot voler augmentar el nombre de triangles. Això també és possible, ja que el sistema proporciona diferents maneres de subdivisió per a optimitzar la qualitat de la triangulació.

Cura, programari d'Ultimaker –empresa holandesa d'impressores 3D–, està orientat sobretot a la preimpresió. El programa talla els models 3D, tradueix l'arxiu 3D a format STL o OBJ, un format que la impressora pot entendre (Ultimaker, 2016). Les impressores 3D imprimeixen una capa sobre una altra per a construir l'objecte 3D. Cura pren el model 3D i calcula com es col·loquen aquestes capes al llit d'impresió i crea un conjunt d'instruccions perquè la impressora imprimisca l'objecte capa per capa.

NetFabb és un programa de l'empresa Autodesk que també proporciona una sèrie potent d'eines per a la depuració i reparació d'errors de malla. També ofereix eines amb operacions booleanes, així en el web del programa hom comenta com aquest tipus d'eines



s'utilitza per a generar maquetes arquitectòniques, però si es desitja poder treballar amb booleanes caldrà fer el desemborsament econòmic de 1 085 € a l'any (135 € mensuals) (Autodesk, 2016b), operacions que ofereixen gratuïtament programes com MeshLab o Meshmixer (per cert, també de l'empresa Autodesk).

Però el programa estrella per a l'obtenció del Gcode –arxiu que conté totes les especificacions de l'objecte a imprimir– és Slic3r. Aquest es basa en una comunitat de persones que treballen en col·laboració (Hodgson, 2016), en discuteixen noves característiques i les proven. És un projecte sense ànim de lucre. Els impulsors de Slic3r són molt crítics amb la comunitat RepRap, a la qual acusen de convertir en un negoci la impressió 3D. Ells volen mantenir la impressió 3D lliure i Slic3r sempre serà un projecte independent, no impulsat per cap negoci o proveïdor únic.

Finalment, l'alternativa gratuïta a Slic3r, és el programari Repetier. És molt complet i ens permet veure el codi de l'arxiu Gcode (Littwin, 2016), ens indica gràficament en 3D el recorregut que farà el filament per la peça, així com el temps estimat d'impressió.

En la taula que hi ha a continuació teniu el programari estudiat:

Programari

Reparació d'objectes	Preimpressió	Impressió
Meshmixer (distribució lliure)	Cura Software (distribució lliure)	Slic3r (codi obert i lliure)
MeshLab (distribució lliure)	NetFabb basic (gratuït) NetFabb (des de 1.085 € l'any)	Repetier (distribució lliure)

El sistema de tractament de la malla poligonal dels programes de preimpressió inclou l'eliminació de vèrtexs duplicats, no referenciats, vores sense col·lector, vèrtexs i cares nul·les. Són eines de suport per a la simplificació de la malla poligonal, que és en la que es converteixen els objectes, diversos tipus de superfícies de subdivisió, i dos algorismes de reconstrucció superficial de núvols de punts i enfocament amb superfície de reconstrucció. Per a l'eliminació del soroll, generalment present a les superfícies dels objectes, MeshLab suporta diversos tipus de filtres de suavitzat i eines per a la visualització dels diferents tractaments (Cignoni et al., 2008).

L'eina per al registre de mapes de múltiples rangs, basada en l'algorisme iteratiu del punt estructural més proper, també és útil. Així mateix, MeshLab inclou un sistema interactiu directe de pintura sobre malla que permet canviar-ne interactivament el color, definir-ne seleccions i suavitzar directament el soroll i les petites característiques.

MeshLab s'utilitza en diversos contextos acadèmics i d'investigació, com ara la microbiologia, el patrimoni cultural, la reconstrucció superficial, la paleontologia o el prototip ràpid en cirurgia ortopèdica.

Tanmateix, la tecnologia estudiada no inclou només la representació d'objectes quotidians, sinó també la intenció de preservar el patrimoni cultural. Així doncs, es desenvolupen nous algorismes i eines per tal d'ajudar els experts (historiadors d'art, restauradors i arqueòlegs) en el seu treball diari.

Per això seria molt positiu compartir els resultats de les investigacions amb la tecnologia posant a l'abast del gran públic la possibilitat de descàrrega en línia de mostres del nostre patrimoni cultural en 3D. Així doncs, ens fem la pregunta següent: hi ha actualment alguna cosa semblant a llibreries virtuals de reproduccions de monuments 3D descarregables en línia?

Heus aquí els resultats a la qüestió:

RECURSOS PER A LA CATALOGACIÓ VIRTUAL

Libreries gratuïtes d'objectes 3D

Disseny 3D i escultura	Objectes imprimibles	Arquitectura i urbanisme
123D Autodesk	Thingiverse	3D Warehouse

Les llibreries amb projectes d'usuaris de les app 123D (Autodesk, 2015) són força interessants, tota una família d'aplicacions de l'empresa Autodesk (123D Catch, 123D Design, 123D Make, 123D Sculpt+), amb les quals es poden escanejar i tractar objectes i fins i tot enviar-los a imprimir des del propi web. Podem trobar tot tipus d'objectes amb esment especial als escultòrics (Autodesk, 2016a).

Unes altres llibreries són el web Thingiverse, amb un munt d'objectes imprimibles, envoltats de recursos educatius. A la portada del web podem veure reproduïda l'estàtua en honor a la vida i llegat de Martin Luther King, resultat d'un escaneig i del tractament de malla adequat (Thingiverse, 2016). A la miniatura es pot observar la inscripció que l'estàtua real té «D'una muntanya de desesperació, una pedra d'esperança».

Unes altres llibreries interessants són les de l'aplicació SketchUp, anomenades 3D Warehouse, lloc web on els modeladors de SketchUp poden pujar, descarregar i compartir models tridimensionals (Trimble, 2016). El lloc permet als modeladors crear col·leccions de models i utilitza algorismes per a determinar models similars. Els models individuals es poden veure en 3D des d'un

navegador. *The New York Times* va dir en 2008 que el web s'havia convertit en una biblioteca virtual (Wells, 2009), un lloc on trobar models tridimensionals virtuals de la major part de les estructures dels edificis més importants del món. De fet, hi podem trobar, perfectament catalogades, escultures de Santiago Calatrava o un apartat amb molts models d'esglésies ubicades en territori valencià.



VI. Discussió i conclusions

Les noves tecnologies faciliten la catalogació, conservació i activació del patrimoni cultural. El restaurador ja no necessita actuar directament sobre un monument, el pot escanejar i posteriorment observar-ne la geometria i els possibles graus d'actuació en l'estructura física d'acord amb els diferents estudis a realitzar. La catalogació de la peça no pateix procés de degradat per manipulació i trasllat, i fins i tot pot ser exposada virtualment en un museu.

Xarxes socials com a bases de dades sobre obres d'art i monuments faciliten la comunicació entre restauradors, investigadors i usuaris en general. Com que no necessiten d'un espai físic per a la catalogació de monuments, una reproducció d'aquests en arxiu informàtic 3D pot estar accessible en biblioteques virtuals, on els usuaris poden visualitzar-los en 3D en línia o descarregats a l'ordinador i fins i tot es poden imprimir i convertir en rèpliques a l'abast d'estudiants, col·leccionistes o investigadors i estudiosos.

Interacció i col·laboració entre diferents disciplines per al desenvolupament d'eines que permeten estudiar els objectes artístics. En un treball multidisciplinari poden convergir enginyers, químics, fotògrafs, restauradors, escultors, en definitiva, constructors, executors, inventors o *makers*, segons l'accepció en anglès. Aquesta diversitat d'actors es complementa donant com a resultat un treball en equip que, ben orientat, pot donar resultats interessants. Mentre que l'enginyer que desenvolupa una impressora 3D està més interessat en la creació de la mateixa màquina i el seu interès en el procés acaba quan la impressora es posa en funcionament, al dissenyador se li planteja tot un univers de possibilitats amb una eina de prototipat ràpid que pot reproduir tant joguets com escultures escanejades en un espai públic, i és una tecnologia que també atrau restauradors i estudiosos de l'art en general.

Cap a l'eina integrada, el disseny i l'estudi de l'objecte, i posterior reproducció en diferents materials. Una escultura d'un espai públic es pot escanejar i convertir en un arxiu informàtic tridimensional. Aquest pot formar part de llibreries integrades en una biblioteca especialitzada. L'objecte tridimensional es pot observar en diferents dispositius, com ara tauletes, mòbils i

ordinadors. Per mitjà de realitat augmentada un museu pot mostrar un objecte delicat en estat precari, el visitant del museu amb l'app apropiada al telèfon mòbil pot visualitzar virtualment l'objecte de manera que el museu no arrisca el bé artístic. L'objecte tridimensional passat a arxiu informàtic es pot imprimir en diferents materials plàstics.

Estudi i investigació del patrimoni no només a l'abast de les grans corporacions, sinó a l'abast de tot tipus d'escoles i públic en general. Així, a les escoles públiques es podrà estudiar el patrimoni artístic d'un país amb tot luxe de detall, amb una experiència tridimensional que res té a veure amb les consultes tradicionals en el material fotogràfic bidimensional.

La possibilitat, en un futur, d'una Viquimonuments (Wikimonuments), Viquipèdia de llibreries 3D d'objectes d'obres d'art i monuments a l'abast de tothom. Una cosa semblant és *Wiki Loves Monuments*, un concurs fotogràfic de monuments organitzat per grups de voluntaris de Wikimedia a diferents països (Wikimedia, 2011). Es tracta d'una iniciativa que anima qualsevol persona a carregar-hi imatges de monuments sota una llicència lliure perquè s'usen en articles de la Wikipèdia, en altres projectes Wikimedia i en qualsevol altre lloc. La intenció és oferir una visió global i de qualitat del patrimoni cultural de cada país, segons els impulsors del projecte. Això forma part destacable del saber humà i les imatges formen part d'un llenguatge universal que no requereix conèixer un idioma determinat. D'aquesta manera, es proposa el desenvolupament de quelcom semblant a una Viquipèdia, però en comptes d'incloure-hi imatges 2D, hi ha imatges 3D. També hom podria organitzar grups de voluntaris dins dels grups de *makers*, amb la finalitat d'anar escanejant i penjant el patrimoni cultural en diverses llibreries d'objectes virtuals 3D. De fet, ja hi ha llibreries d'objectes 3D virtuals, gratuïtes amb treballs dels mateixos usuaris. Només es tracta d'agafar l'empenta de la xarxa social i reconvertir-la en una eina per a l'ús didàctic dels estudiants.



UNIVERSITAT
JAUME I

VII. Bibliografia

- Artec. 2016. *Escàneres 3D de Artec*. Accés del 23 de desembre de 2016. <https://www.artec3d.com/es/shop>.
- Anderson, C. 2012. *Makers: The New Industrial Revolution*. Nova York: Random House.
- Asus. 2016. *Xtion Pro Live*. Accés del 4 de març de 2016. <http://xtionprolive.com/asus-xtion-pro-live-3d-sensor-motion-camera/asus-xtion-pro-live>.



- Autodesk. 2015. *123D Projects*. Accés del 14 d'octubre de 2016. <http://www.123dapp.com/project/search/state/all>.
- . 2016a. *Autodesk 123D Blog*. Accés del 12 de març de 2016. <http://blog.123dapp.com/category/123d-design>.
- . 2016b. *Meshmixer the 3D Printing Utility*. Accés de l'11 de maig de 2016. <http://meshmixer.com/design.html>.
- . 2016c. *Netfabb Basic is now just Netfabb*. Accés del 20 de desembre de 2016. <https://www.netfabb.com/blog/netfabb-basic-now-just-netfabb>.
- BBC. 2014. *Ruthwell Cross Factsheet*. Accés del 20 de novembre de 2016. http://www.bbc.co.uk/history/scottishhistory/darkages/trails_darkages_angles2.shtml.
- BQ. 2016. *BQ Ciclop*. Accés del 20 de novembre de 2016. <https://www.bq.com/es/ciclop>.
- Cignoni, Paolo et al. 2008. *MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool*. Sixth Eurographics Italian Chapter Conference, 129-136.
- Cignoni, Paolo i Guido Ranzuglia. 2016. *MeshLab*. Accés del 10 de desembre de 2016. <http://www.meshlab.net/>.
- Hodgson, Gary. 2016. *Slic3r Manual*. Accés del 20 de juny de 2016. <http://manual.slic3r.org/intro/overview>.
- Kazhdan, Michael i Hugues Hoppe. 2013. «Screened Poisson Surface Reconstruction». *ACM Transactions on Graphics* 32 (3): 1-13. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2487237%5Cnhttp://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2487228.2487237>.
- Leoni, Chiara, Marco Callieri, Matteo Dellepiane, Daniel Paul O'Donnell, Roberto Rosselli Del Turco i Roberto Scopigno. 2013. «The Dream and the Cross: Bringing 3D Content in a Digital Edition». *2013 Digital Heritage International Congress*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6743751/>.
- Littwin, Michael. 2016. *About Repetier*. Accés del 12 de juliol de 2016. <https://www.repetier.com/about-us/>.
- O'Donnell, Daniel Paul. 2012. *Some Early Screenshots from the 3D Work*. Accés el 15 de novembre de 2016. <http://visionarycross.org/some-early-screenshots-from-the-3d-work/>.
- Occipital. 2012. *Structure Sensor*. Accés del 10 de desembre de 2016. <https://store.structure.io/store>.
- PC-Componentes. 2016. *XYZPrinting. Escáner 3D de Mano*. Accés del 14 de novembre de 2016. <https://www.pccomponentes.com/xyzprinting-esc-ner-3d-de-mano>.

- Saxl, Fritz. 1943. «The Ruthwell Cross». *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes* 6: 1-19.
- Thingiverse. 2016. *Thingiverse*. Accés del 15 de novembre de 2016. <https://www.thingiverse.com>.
- Tresding. 2016. *Escáner 3D Pro*. Accés de l'11 de desembre de 2016. <http://www.tresding.com/escaner-3d/6-entresd-escaner-3d-pro-628055059004.html>.
- Trieu, Rosa. 2014. *Taiwan's XYZ printing Launches World's First All-In-One 3D Printer Plus Scanner*. Forbes. Accés del 14 de novembre de 2016. <http://www.forbes.com/sites/rosatrieu/2014/10/29/taiwans-xyzprinting-launches-worlds-first-all-in-one-3d-printer-plus-scanner/print/>.
- Trimble. 2016. *3D Warehouse*. Accés de l'11 d'octubre de 2016. <https://3dwarehouse.sketchup.com>.
- Ultimaker. 2016. *Cura Software*. Accés de l'1 de desembre de 2016. <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>.
- UPV. 2016. *RA Y RV para ver los faltantes de las piezas arqueológicas en museos*. Accés del 30 de setembre de 2016. <https://www.ai2.upv.es/es/mostrarnoticia.php?id=754>.
- The Visionary Cross Project. 2016. *The Visionary Cross project*. Accés del 25 de octubre de 2016. <http://visionarycross.org>.
- VSM. 2013. «10th Eurographics GCH, and 2nd UNESCO Memory of the World Conferences, Plus Special Sessions fromCAA, Arqueologica 2.0». *2013 Digital Heritage International Congress*, 281-288.
- Wells, Stephen. 2009. *Taking a Scout Project to Another Dimension*. Accés del 10 de desembre de 2016. <http://www.nytimes.com/2009/03/29/nyregion/new-jersey/29googlenj.html?scp=1&sq=boy scout&st=cse>.
- Wikimedia. 2011. *Wiki Loves Monuments*. Accés del 20 de novembre de 2016. <https://www.wikilovesmonuments.org>.
- 3D, I. 2016. *Escáner BQ Ciclop*. Accés del 10 de novembre de 2016. <https://impresoras3d.com/products/escaner-bq-ciclop>.

