

TFG

DOCUMENTACIÓN DEL MATERIAL ARQUEOLÓGICO MEDIANTE TÉCNICAS DE REGISTRO EN 3D.

Presentado por Nuria Martínez Cerdán
Tutora: Elvira Aura

Facultat de Belles Arts de San Carles
Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales
Curso 2013-2014



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES

RESUMEN

En el panorama actual de la Conservación-Restauración de Bienes Culturales, así como de la Arqueología, la irrupción acaecida en las últimas décadas de tecnologías provenientes de otras disciplinas, sumado al auge de los actuales sistemas de comunicación, con la consecuente demanda social de inmediatez y universalidad de acceso a la información, ha dado lugar a un proceso de renovación en todos sus ámbitos, tanto prácticos como teóricos.

A través del presente Trabajo de Final de Grado, se ha pretendido realizar un acercamiento a dicha situación, acotándolo al caso concreto de la Tecnología Láser Escáner 3D (y el consecuente modelado tridimensional de piezas) y su aplicación en el ámbito de la Conservación-Restauración de Material Arqueológico mueble, por medio del análisis de ciertos conceptos y aspectos que se han considerado esenciales para el entendimiento y desarrollo de este trabajo, así como de la propuesta de recomendaciones básicas de uso, la ilustración de aplicaciones concretas y, finalmente, la puesta en práctica de la metodología de trabajo documentada, a través del escaneado y procesado 3D de fragmentos cerámicos.

Palabras Clave: Nuevas Tecnologías; Escáner Láser 3D; Modelado Tridimensional; Conservación-Restauración; Material Arqueológico.

In the view of both the Conservation and Restoration of Cultural Heritage, as well as Archaeology, the irruption of technologies come from other disciplines, happened over the last few decades, plus the rise of current communication systems, with consequent social demand for immediacy and universal access to information, has led to a process of renewal in all areas, both practical and theoretical.

Through this Final Degree Work, we have tried to approach and address these circumstances and this situation, within the particular case of 3D Technology Laser Scanner (and the resulting three-dimensional modeling of pieces), and its application in the field of Conservation-Restoration of Archaeological Artifacts, through the analysis of certain concepts and features that we have considered essential to the understanding and development of this work, as well as adhering to the suggestions for the basic guidelines of use, the exposition of specific applications, and, finally, putting into practice the workflow documented, through the 3D scanning and processing on pottery fragments.

Keywords: New Technologies; 3D Laser Scanner; Tridimensional Modeling; Conservation-Restoration; Archaeological Material

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	6
2.1. OBJETIVOS.....	6
2.2. METODOLOGÍA	7
2.2.1. Estudio y documentación bibliográfica	7
2.2.2. Aplicación experimental: Metodología de escaneo 3D y procesado de datos.	7
2.2.3. Elaboración de la memoria escrita	7
3. EL MATERIAL ARQUEOLÓGICO	8
3.1. LA DISCIPLINA ARQUEOLÓGICA: MARCO TEÓRICO	8
3.2. LA IMPORTANCIA DE LOS HALLAZGOS ARQUEOLÓGICOS.....	9
3.3. LA IMPORTANCIA DE LA DOCUMENTACIÓN DEL MATERIAL ARQUEOLÓGICO	11
4. TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D	14
4.1. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS: INTRODUCCIÓN	14
4.2. EL ESCÁNER LÁSER 3D.....	15
4.2.1. ¿Cómo funciona esta tecnología?.....	16
4.2.2. Tipos de dispositivos.....	16
4.2.3. Recomendaciones de uso	17
4.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO: TOMA Y PROCESADO DE DATOS 3D. EJERCICIO PRÁCTICO.....	20
4.3.1. Motivación	20
4.3.2. Metodología desarrollada	21
4.3.3. Conclusiones	24
4.4. APLICACIONES, POSIBILIDADES Y LIMITACIONES	26
4.4.1. Aplicaciones y Posibilidades	26
4.4.2. Limitaciones y Posibles Soluciones	33
5. CONCLUSIONES.....	34
6. BIBLIOGRAFÍA	36
7.ÍNDICE DE IMÁGENES Y TABLAS	43

1. INTRODUCCIÓN

La revolución experimentada en el campo de las Tecnologías de la Comunicación de la Información (Tic's), (inmediatez, globalización, interactividad, alta calidad visual, etc.) junto a la universalización del uso de las denominadas Nuevas Tecnologías (NN.TT.), apreciadas en todos los aspectos del día a día de las últimas décadas, ha dado lugar a una convulsión en muchas áreas de investigación, no siendo una excepción nuestro ámbito de actuación, el Patrimonio Cultural. Así, ambas (Tic's y NN.TT.¹), con el devenir de los años, han ido modificando sus iniciales aplicaciones para ajustarse y solventar problemáticas propias de campos totalmente dispares.

La adopción de los avances desarrollados desde ambos ámbitos, tanto pasados, como presentes y futuros, ha supuesto y supondrá el abrir nuevas posibilidades de trabajo e investigación en áreas como la Conservación-Restauración de Bienes Culturales² o la Arqueología, con el fin de ajustarse a su tiempo y expectativas, siendo empleadas como herramientas de apoyo, que faciliten y hagan más exacta la labor a desarrollar, así como que amplíen y agilicen el acceso a dichos trabajos por parte de una sociedad cada vez mas sensibilizada y comprometida e interesada con el Patrimonio Cultural.

Dentro de las múltiples utilidades que las NN.TT.³ nos brindan como Conservadores-Restauradores, el presente Trabajo de Final de Grado⁴ se enmarca en un área concreta, el de las posibilidades ofrecidas por la representación tridimensional del material a través de su escaneado 3D y posterior procesado digital, esfera de trabajo que viene prestando soporte a todo tipo de disciplinas técnicas-científicas desde el de la Ingeniería o Arquitectura, pasando por Medicina o Criminología Forense hasta el de la Museología, desde hace ya años, pero que se trata de un ámbito que todavía puede ofrecer grandes posibilidades de trabajo en lo que a nuestra área específica de actuación se refiere, y en el caso concreto que a continuación se procederá a exponer, el de los hallazgos arqueológicos⁵.

Desde los estadios más embrionarios del desarrollo de este trabajo, se consideró el cometido de ir más allá de la exhibición de una metodología de trabajo de escaneado y modelado de una pieza concreta. Es por ello que a través de las siguientes líneas y, aunque de manera somera, se procederá a realizar una aproximación a algunos de los casos documentados que se han considerado de relevancia en el presente trabajo. Articulándose el presente

¹ Tic's y NN.TT. de aquí en adelante.

² C.-R. de BB.CC. de aquí en adelante.

³ Aunque en lo que se refiere al ámbito de la C.-R. este concepto abarca desde producciones interactivas a limpiezas con láser, en el presente texto el término se empleará únicamente haciendo referencia a aquellas técnicas que participen de la representación gráfica 3D del Patrimonio Cultural y sus diversos usos finales (Documentación, Restauración, Difusión, etc.).

⁴ TFG de aquí en adelante.

⁵ Acotando el estudio únicamente a aquellos de carácter mueble, debido a lo amplio del tema.

TFG en torno a los dos grandes bloques, contemplados ya de partida en el título, Técnicas de Registro 3D, refiriéndose concretamente al Láser Escáner 3D y Materiales Arqueológicos, los cuales convergen en un mismo punto, clave y fundamental para este trabajo, el de su Conservación-Restauración.

Para cerrar esta breve introducción, apuntar que la motivación principal que ha suscitado este TFG, se ha centrado en profundizar en el conocimiento del uso, funcionamiento y demás características a la hora de considerar el escáner láser 3D como una potencial herramienta de trabajo. Encontrándose vinculado, el presente Trabajo de Final de Grado “Escaneado y Procesado 3D de Material Arqueológico”, con el proyecto de Investigación “Desarrollo de Técnicas y Métodos de Restauración Arqueológica mediante Escaneado e Impresión 3D” del Ministerio de Economía y Competitividad, concedido en la resolución del 28 de diciembre del 2012 por la Secretaría de Estado e Investigación, Desarrollo e Innovación de referencia HAR 2012-38391-C02-01. Proyecto Coordinado perteneciente al Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental, en el marco del VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS

Tres son los objetivos principales sobre los que se fundamenta el presente TFG, tres fines considerados como dependientes entre sí, puesto que el tercero no podrá desarrollarse satisfactoriamente, sin un buen acometido de los otros dos.

1. Poner en práctica las destrezas adquiridas durante el grado en torno a la documentación y estudio de las nuevas herramientas de trabajo que el mercado actual pone a nuestra disposición (escáner láser 3D y posterior procesamiento de datos).

Este objetivo principal contempla a su vez una serie de objetivos específicos:

- 1.1. Compilar toda aquella información que facilite el entendimiento de este tipo de tecnología y metodología de trabajo.
 - 1.2. Exponer el funcionamiento de este tipo de tecnología y la metodología de procesamientos posterior de datos.
 - 1.3. Elaborar una serie de propuestas básicas en cuanto a recomendaciones de usos.
2. Estudiar y exponer el desarrollo y aplicación de la tecnología láser escáner 3D en el ámbito de la Conservación-Restauración de Materiales Arqueológicos.
 3. Emprender la realización de un ejercicio práctico, con el fin de generar un sólido 3D.

Finalmente, y en resumen, el planteamiento global, es el de acercar este tipo de tecnología contemporánea, así como el de compilar y exponer, de una manera clara y precisa, una muestra lo más completa posible de algunas de las potencialidades que la aplicación de ésta puede brindar, tanto a conservadores-restauradores, como arqueólogos, con vistas a fomentar su uso y desarrollo.

2.2. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo a seguir se fundamenta, principalmente, en una ardua tarea de documentación, seguida de un análisis, síntesis y exposición de la información obtenida, así como de una puesta en práctica de la misma. Metodología, estructurada por ello, en torno a tres grandes bloques: el primero, de carácter teórico, será el que contemple el grueso del discurso expositivo; el segundo de carácter práctico, centrado en la obtención de un modelo 3D; el último también de carácter práctico, dirigido a la ejecución final del Trabajo de Final de Grado.

2.2.1. Estudio y documentación bibliográfica

Localización y estudio de las fuentes de información que sean de interés (revisión conceptual, evolución, aplicaciones, metodología de trabajo, etc.).

Plan de Trabajo:

- Localización y recopilación de información científico-técnica: On-Line, Bibliotecas, etc. (monografías, artículos, libros, etc.).
- Organización de la documentación compilada atendiendo a cada uno de los puntos que se prevé abordar.
- Estudio y análisis de la misma, facilitando de este modo el desarrollo de las fases siguientes de trabajo (tanto práctico como intelectual).

2.2.2. Aplicación experimental: Metodología de escaneado 3D y procesado de datos.

Siguiendo todas las fases y disposiciones observadas en la documentación consultada (bibliografía específica; casos de aplicación; tutoriales y manuales sobre uso y características de las técnicas a emplear, etc.).

Plan de Trabajo:

- Realización de un ejercicio práctico.
- Extracción de conclusiones sobre los procesos seguidos, dificultades encontradas y resultados obtenidos.

2.2.3. Elaboración de la memoria escrita

Tratamiento, ordenación y puesta por escrito de la información obtenida a lo largo de todas las anteriores fases que contempla el proyecto de TFG.

Plan de Trabajo:

- A partir de los objetivos planteados y en base a la documentación consultada, por medio de una actitud crítica, extracción de datos e información pertinente.
- En base a todas las fases anteriores establecer las conclusiones a las que se ha llegado.
- Realización memoria escrita: introducción, motivaciones del proyecto, objetivos previamente planteados, metodología de trabajo seguida, resultados obtenidos, conclusiones, etc.
- Preparación presentación oral.



Imagen_ 1: Vista general del proceso de excavación del Yacimiento “Necrópolis de San Joaquín de la Menarella”, (Forcall, Castellón), 2006.

3. EL MATERIAL ARQUEOLÓGICO

Se ha estimado oportuno dedicar un apartado a la cuestión concreta de la disciplina arqueológica (*Imagen_1*), dada su relevancia e implicación en cuanto al tipo de material estudiado y tratado en el presente trabajo, para, de este modo, acercarnos un poco más a este ámbito, su “sentir”, forma de hacer, aspectos que estudia, etc., tal y como generalmente viene haciéndose con el de la Historia del Arte, pues, y dado que vamos a trabajar sobre los “documentos” con los que la Arqueología cuenta, es importante conocer un poco más el ámbito del que proceden.

3.1. LA DISCIPLINA ARQUEOLÓGICA: MARCO TEÓRICO

Arqueología, según la definición ofrecida por la RAE, del gr. *ἀρχαιολογία*, («*ἀρχαίος*» *archaios*, viejo o antiguo, y «*λόγος*» *logos*, ciencia o estudio), ciencia que estudia lo que se refiere a las artes, a los monumentos y a los objetos de la antigüedad, especialmente a través de sus restos⁶; ciencia que estudia los cambios físicos que se producen desde las sociedades antiguas hasta las actuales, a través de restos materiales distribuidos en el espacio y conservados a través del tiempo⁷.

Con todo, a lo largo de la fase de documentación, y a partir de la literatura publicada al respecto por los propios expertos en la materia, se puede decir que la Arqueología es la comprensión del género humano (abarcando un qué, cómo y por qué, de cualquier proceso o suceso acaecido y protagonizado por este), en palabras del propio C. RENFREW, Arqueología es...*en parte, el descubrimiento de los tesoros del pasado, el trabajo meticuloso del analista científico y el ejercicio de la imaginación creativa...es, pues, tanto una actividad física de campo como una búsqueda intelectual en el estudio o el laboratorio ...es una búsqueda excitante –la búsqueda del conocimiento de nosotros mismos y del pasado humano*⁸.

⁶ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (RAE). *Diccionario de la Lengua Española (DRAE)*.

⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Arqueolog%C3%ADa>

⁸ RENFREW, C.; BAHN, P. *Arqueología. Teorías, métodos y prácticas*, p.9

A grandes rasgos, la evolución de la disciplina arqueológica, podría decirse que viene marcada por 3 fases de desarrollo diferenciadas:

Fase Especulativa: s. XVIII. Curiosidad por reliquias de civilizaciones pasadas, coleccionismo, ausencia de método científico de trabajo y documentación.

Arqueología Moderna: s.XIX, surgida a partir de tres hechos clave: principio de la evolución de Darwin, aceptación de la antigüedad de la humanidad y del sistema de las 3 Edades en la clasificación de materiales. Así a mediados de siglo la Arqueología se constituye como disciplina dotada ya de sistemas de trabajo científicos.

Nueva Arqueología, a partir de la 2ª Guerra Mundial: comienza a producirse una transformación y a ramificarse y especializarse en distintos aspectos tanto prácticos como teórico.

3.2. LA IMPORTANCIA DE LOS HALLAZGOS ARQUEOLÓGICOS

Es por ello, a raíz principalmente de lo que se extrae de la propia definición del concepto Arqueología, el que desde aquí se quiera destacar la importancia de estudiar y preservar, de la manera más exhaustiva y respetuosa posible, todo vestigio humano del pasado.

Para lograrlo es necesario un compromiso e inversión por parte de todas aquellas ciencias que posibilitan y participan en ambas facetas (estudio y preservación de los materiales), en vistas tanto a fines didácticos, como al más banal deleite visual de las mismas y, principalmente, al hecho más complejo de que en un futuro se cuenten con metodologías y técnicas más avanzadas que posibiliten profundizar en la información que, sobre nuestro pasado, estos materiales “guardan”.

Tales vestigios, sobre los que parte de la estrategia de investigación de la Arqueología se fundamenta, sean de la índole que sean, constituyen el grueso del denominado registro arqueológico, que *....está configurado por elementos (documentos) que vinculan su sentido original al sentido actual que la Historia construye en torno a ellos. Pero se diferencia de otros documentos históricos en que está conformado (fundamentalmente) por objetos que son testigos mudos de un pasado desvanecido, un complejo de productos sociales que han perdido su conciencia social⁹. Así pues, el material que encuentra el arqueólogo no nos dice de forma directa que debemos pensar. [...] somos nosotros, en el presente, los que debemos darles sentido. Desde este punto de vista, la práctica de la Arqueología es bastante similar a la del científico. [...]El arqueólogo tiene que desarrollar una imagen del pasado, del mismo modo que el científico ha de elaborar una visión coherente del mundo natural. No aparece ya hecha¹⁰.*

⁹ CRIADO, F. *El futuro de la arqueología, ¿la arqueología del futuro?*, p.21

¹⁰ RENFREW, C.; BAHN, P. *Op. Cit.*, p.10

Es por ello que la importancia de los hallazgos materiales en Arqueología y la necesidad de su Conservación y Difusión justifica, en parte, la motivación del presente texto, al otorgarle a estos restos un destacado protagonismo en el conocimiento de nuestro pasado. Matizando el hecho de que la importancia de éstos no radica únicamente en el objeto en sí, sino en todo aquello que de ellos se pueda sustraer, a partir tanto de la relación entre los mismos y/o con el yacimiento, (pues un hallazgo aislado en superficie, o una pieza sustraída de su contexto, por muy inaudita que sea, de poco nos puede servir), como de las huellas que estos contenga, o la propia morfología o estética, aspectos todos ellos sobre los que, en parte, radica el valor de su preservación.

Así pues, a través de su estudio, tanto tecnológico, arqueométrico¹¹, tipológico, como morfológico-estilístico, e incluso de restos de contenidos, etc., se obtiene información que puede ir desde el nivel tecnológico adquirido por las distintas sociedades, a incluso, y de manera destacada, como indicador cronológico, (datación relativa). La siguiente tabla (*Tabla_1*) evidencia de manera detalla la información que a nivel general puede proporcionar los hallazgos arqueológicos.

<i>Tabla_1</i> : Material Arqueológico: relación evidencia-información.	
Evidencia para	Información Proporcionada
Datación Relativa y/o Absoluta	Momentos determinados de su vida: elaboración, uso, abandono, etc. Relativa: Proporcionada directamente por los objetos, se basa en la interrelación entre piezas y/o estas a un contexto determinado, de cronología conocida, (uso principalmente extendido hasta mediados del s.XX). Absoluta: A través de la aplicación de distintas técnicas, directamente sobre los restos principalmente, como son la termoluminiscencia, paleomagnetismo, arqueometría, etc.
Sistema de elaboración y tecnología empleada	De carácter socio-económico: grado de especialización alcanzado, división del trabajo, etc.
Funcionalidad	De carácter también funcional, ya sea a nivel general del yacimiento, por ej. Centro alfarero, como de la estancia en la que se documente, por ej. almacenaje.
Distribución	De carácter principalmente económico, puede aportar datos en torno al centro de producción, intercambios comerciales, etc.
Usos, costumbres y demás aspectos cotidianos	De carácter eminentemente socio-cultural, pero también, en determinados casos, espiritual o religioso, a través del estudio de las representaciones decorativas. Este aspecto se puede completar con el estudio de residuos que aportarán datos: ej. hábitos alimentarios y/o recursos disponibles.
Entorno medioambiental	A partir del estudio de posibles restos residuales.
Estado de conservación	Avatares sufridos y/o procesos de elaboración, como malas cocciones, inadecuada selección de materiales, escasa especialización del productor, etc.
Otros	A través del estudio tipológico y los cambios sufridos por este, se pueden establecer periodizaciones o procesos de aculturación.

¹¹ Véase ANEXO_IV Glosario Definiciones.

3.3. LA IMPORTANCIA DE LA DOCUMENTACIÓN DEL MATERIAL ARQUEOLÓGICO

Al documentar un elemento del patrimonio se mantiene, administra e incrementa la información existente sobre él (BALLART, J. y TRESSERRAS, J., 2001), pudiendo existir dos tipos de documentos, los asociados a las operaciones de registro y los relacionados con el estudio e investigación, conservación y difusión¹².

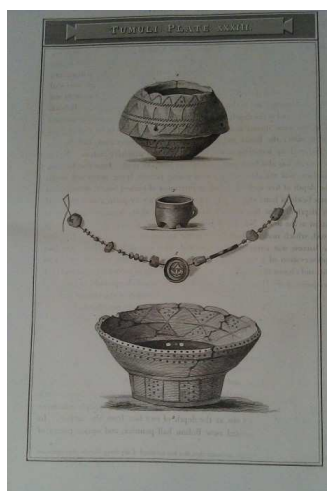
Fase que siempre ha acompañado a la labor arqueológica, ya incluso en sus etapas más incipientes, cuando todavía no gozaba de un rigor de trabajo científico, pudiéndose considerar, a aquellos primeros croquis o dibujos, como un primer estadio de la documentación. Poco a poco y con el devenir y evolución de la disciplina arqueológica, los procesos de documentación se fueron estandarizando y volviéndose, paralelamente a ésta, mucho más rigurosos y científicos, así *...al igual que la propia excavación, el tratamiento de los materiales recuperadosconstituye una actividad especializada que exige una planificación y una organización muy cuidadosa¹³*. Por tanto, cualquier material recuperado se ve sometido a un exhaustivo sistema de registro y documentación desde el mismo momento de su localización en el yacimiento hasta una vez ya en el gabinete de campo (Imagen_2).



Imagen_ 2: Desarrollo estándar proceso de documentación del material arqueológico.

¹² VALLE, J.M. *La medida y representación del Patrimonio: Alternativas y criterios de selección*, p.66

¹³ RENFREW, C.; BAHN, P. *Op.Cit.*, p.102



Imagen_ 3: Lámina de Colt Hoare Stonehenge, finales s.XVII-principios s.XIX.



Imagen_ 4: Lámina de William Stukelev, Vista de Stonehenge, 1740.

En una de esas fases de documentación comentadas, es donde arqueólogos y conservadores-restauradores encontramos un fuerte nexo de unión, más allá de nuestro compromiso común para con el Patrimonio, al tener que enfrentarnos ambos al denominado dibujo arqueológico, *...mezcla de representación subjetiva y objetiva, un dibujo científico más que documental y más documental que artístico; en definitiva, una representación interpretada*¹⁴.

El dibujo arqueológico, presente desde los momentos más incipientes de la Arqueología, en los que se encontraba más próximo al dibujo artístico, (*Imágenes_3*¹⁵-*4*¹⁶), hasta incluso hoy en día, gozando del auxilio de técnicas fotográficas, (cuya aplicación en el registro patrimonial se documenta casi desde los orígenes de la misma, mediados s.XIX), o de digitalización, ha sido y es la forma de documentación que siempre ha estado presente, tanto a nivel del propio yacimiento, (adquiriendo aquí gran importancia ya que de por sí el propio método de trabajo es “destrutivo”¹⁷, lo que enfatiza la necesidad de una correcta documentación general de procesos y materiales), como de los materiales en él hallados, pues a través de éstos se logra una mayor comprensión visual del texto al que acompaña, al tiempo que proporciona un estudio con respecto a morfología, dimensiones, utilidad, etc. importancia

Es por ello, por su larga trayectoria, el que el dibujo arqueológico se encuentra fuertemente consolidado y estandarizado de manera más o menos “universal”¹⁸, ubicándose así en el entorno del dibujo técnico y no tanto del

¹⁴ CABALLERO, L. *El dibujo arqueológico. Notas sobre el registro grafico en Arqueología*, p.91

¹⁵ http://www.sarsen.org/2013_03_01_archive.html

¹⁶ <http://silenteearth.org/let-let-sleep/>

¹⁷ Retirada de capas de sedimentos sucesivos e incluso estructuras, para dejar al descubierto las inferiores, y así realizar un completo estudio inversamente cronológico del lugar y los materiales que este contiene. Por tanto la importancia de llevar a cabo un riguroso proceso de documentación es de vital trascendencia para la posterior reconstrucción del mismo y así lograr un estudio profundo del lugar, entender su evolución y por tanto historia del mismo.

¹⁸ Aceptación por la comunidad científica de las reglas de construcción, lo que permite que cualquier entendido en la material, principalmente arqueólogos o disciplinas asociadas, sea capaz de consultar, entender e interpretar, la información elaborada por colegas de cualquier

artístico; si bien es cierto que a nivel del público en general no siempre se trata de una información fácilmente entendible y, por tanto, interpretable, de ahí el hecho que en el ANEXO_I se aporte ciertas nociones básicas, (principalmente sobre la información que proporciona los dibujos y su interpretación), centrándonos únicamente en los hallazgos muebles, dado que estos son el objeto de estudio sobre el que se sustenta el presente trabajo.

Ejecución y difusión del dibujo de material arqueológico se ha de entender desde su fin último que es, posibilitar la obtención del máximo de información en una sola vista, siendo ésta lo más objetiva y exhaustiva posible, (morfología-geometría, dimensiones, decoración, huellas de fabricación/extracción, de uso, etc.). Tales exigencias en la representación del material se centran en todo aquello relacionado con la información que de éstos se puede obtener, puesto que transformaciones en decoraciones o partes de la pieza, por mínimas que sean, pueden ser indicadores de cambios culturales, cronológicos, etc., o de asignación a una u otra sociedad, taller/área de producción, etc., (lo que justifica la extensa documentación existente en torno a estudios morfométricos, clasificaciones y tipologías¹⁹), información que se ve complementada con otro tipo de estudios como los arqueométricos que proporcionan información relativa a procedencia, usos, composición, etc., y por tanto de nuevo datación y autenticación.

Por medio de esta forma de representación simplificada y realista a nivel dimensional, (al evitar posibles deformaciones causadas por las lentes ópticas de la cámara; así como sombras, etc.), se logra destacar únicamente los rasgos de interés científico y, por tanto, lograr una rigurosa y correcta interpretación, difusión y comparación del objeto.

Para cerrar este apartado, y enlazando todos los aspectos tratados, (Arqueología como ciencia, la importancia de preservar el material arqueológico, y fases de documentación y representación gráfica del mismo), concluir apuntando que es por tanto, en este contexto de búsqueda de precisión y minuciosidad, en donde comienza a perfilarse y justificarse el segundo gran bloque tratado en este informe, las NN.TT., centrado concretamente en el Escáner Láser 3D, cuya calidad de representación supera al alcanzado por el dibujo tradicional, al tiempo que aporta la ventaja de ofrecer visiones globales e interactivas que facilitan su comprensión e intercambio-consulta de información entre especialistas, agilizando los estudios e intervenciones sobre este tipo de material. De ahí la importancia que adquieren la implantación y desarrollo de las NN.TT., muchas de las veces en combinación con las ventajas que ofrecen los sistemas de comunicación actuales, tanto en el ámbito de la Arqueología, como y principalmente de la C-R de BB.CC., tal y como se verá en apartados posteriores.

parte. De este modo se puede consultar y emitir estudios comparativos a partir de dicha información que proporciona datos tanto topológicos, como culturales, técnicos, estilísticos, etc. incluso de daños/alteraciones.

¹⁹ Véase ANEXO_IV_Glosario Definiciones.

4. TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER 3D

4.1. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS: INTRODUCCIÓN

Actualmente nos encontramos inmersos en una sociedad en la que, continuamente y en todos los campos, de los cuales no queda exento el de la C.-R. de BB.CC., se aboga por la búsqueda, desarrollo e implantación de sistemas que proporcionen metodologías y “herramientas” de trabajo cada vez más rápidos al tiempo que precisos y fácilmente accesibles.

Desde nuestra propia área de estudio y actuación, como garantes que somos de preservar y mostrar el legado cultural, patrimonio de todos, debemos ser conscientes-responsables y hacernos eco de esta “nueva” sociedad que nos rodea. Surge así la necesidad de adoptar y adaptar aquellas herramientas que se nos brindan (desde el ámbito de las ya mentadas Tic’s y NN.TT.), pues si no nos ajustamos a las nuevas demandas de la sociedad actual (alta calidad de imágenes, entendimiento, rapidez y facilidad de acceso a la información, universalidad tanto de acceso como de legibilidad, abundancia, omnipresencia, etc.), estaríamos retornando a los momentos embrionarios de nuestra área de actuación en la que se trabajaba solo para unos pocos entendidos, ¿de qué serviría entonces, todo ese tiempo y esfuerzo invertido en intervenir una pieza si finalmente no va a gozar del deleite de quien es, en última instancia, su poseedor?, el patrimonio es de todos, y como tal, todos debemos tener acceso a él.

Así pues, en la confluencia entre contexto social y, la ya mentada, búsqueda de rigurosidad y minuciosidad a la hora de emprender nuestro trabajo, es en donde este tipo de tecnologías encontraron, hace ya unas décadas, su puerta de entrada al ámbito de la C.-R. de BB.CC., pues una vez ampliamente demostrada y comprobada su validez en otros campos de aplicación de manera previa, especialmente aquellos desde los que partieron, comenzó a contemplarse las posibilidades y potencialidades de empleo en todas las fases de nuestra actividad profesional, empujándonos a seguir apostando por el desarrollo de nuevos avances encaminados a mejorar los ya logrados.

Centrándonos ya únicamente en torno a los dispositivos de escaneo láser 3D y posterior modelado de sólidos tridimensionales, y en relación a lo dicho anteriormente, que encontramos su inclusión en el entorno de la C.-R. de BB.CC. ya en las últimas décadas del s. XX, apuntar que estas primeras incursiones vinieron promovidas por la *...National Research Council of Canada (NRCC)*. *Estas investigaciones estuvieron enfocadas a la medición de artefactos para documentación e investigación, al cálculo de precisión en réplicas y a la generación de los modelos digitales para utilizarlos en la fabricación de réplicas. [...] Posteriormente, se presentaron trabajos similares en esta área de*

investigación, los más reconocidos fueron: el “Michelangelo Project” y el “Piet Rondanini Project”²⁰.

Finalizar este punto comentando como se ha estructurado el siguiente apartado: inicialmente, y dado el amplio abanico de tecnologías que componen las llamadas NN.TT., nos centraremos en abarcar aquellos aspectos más técnicos de la que aquí se ha propuesto como objeto de estudio, el Escáner Láser 3D (pudiéndose consultar algunas más en el ANEXO_IV, ya que el uso combinado de las mismas es constante a la hora de casos reales de aplicación); completando esta información con la exposición de una serie de recomendaciones de uso y *Cartas* elaboradas hasta el momento; posteriormente se mostrará la metodología de trabajo a seguir en un proceso de modelado tridimensional típico, ilustrándolo por medio de la realización de un ejercicio práctico; para finalizar el bloque presentando algunos casos reales que plasman el amplio abanico de aplicaciones actuales, también limitaciones, así como posibilidades futuras, que esta tecnología nos brinda.

4.2. EL ESCÁNER LÁSER 3D

Este tipo de tecnologías es obvio que, en las últimas décadas, su nivel de crecimiento ha ido en aumento, tanto en cuanto a instrumental y metodología, como en cuanto a campos de aplicación.

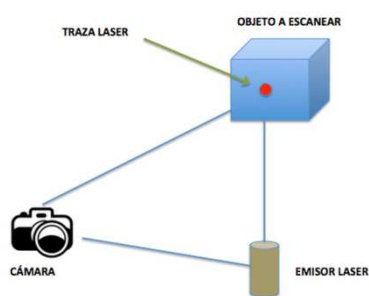
La unión desarrollo tecnológico, con evolución paralela en el abaratamiento de los mismos, ha permitido que estos dispositivos estén cada vez más al alcance de ciertos profesionales del sector de la cultura, desde conservadores-restauradores, a arqueólogos, etc., así nos encontramos en un momento de auge en lo que al estudio de potencialidades de empleo se refiere, para lo cual es necesario contar con un cierto conocimiento de varios aspectos, a saber:

- ✓ Tipo de tecnología por estos escáneres empleada
- ✓ Características ofrecidas desde cada una de las casas fabricantes
- ✓ Procesos metodológicos que contempla un proyecto de modelado 3D de un objeto por medio de este sistema
- ✓ Programas informáticos de procesamientos de datos, etc.

Pues sin un correcto conocimiento de todos estos aspectos, y algún otro más, difícilmente será posible el obtener buenos resultados.

Es en base a estas consideraciones el que, por medio de este texto, se pretenda acercar esta tecnología, desde los aspectos más técnicos a aquellos más prácticos, a todo aquel interesado en la materia, y no solo a profesionales ya inmersos en la misma. Es por ello que, a continuación, se expondrán una serie de aspectos generales que posibiliten una comprensión de la misma.

²⁰ MESA, E.; RAMÍREZ, J.F.; BRANCH, J.W. *Construcción de un modelo digital 3D de piezas Precolombinas utilizando escaneo láser*, p.120



Imagen_ 5: Esquema Triangulación.

4.2.1. ¿Cómo funciona esta tecnología?

Dispositivo de toma de datos sin contacto, que sirviéndose de la tecnología láser transforma la imagen de la superficie de un objeto real a un sistema de coordenadas, por medio del registro de los datos de ubicación de cada uno de los puntos que componen dicha superficie (coordenadas “x”, “y”, “z”), generando una nube de puntos, que es una colección de estas coordenadas o mediciones individuales enmarcadas en un sistema de coordenadas común y de referencia local, esto es, perteneciente al equipo empleado, pudiéndose considerar como la “materia base”, y que a veces se puede encontrar complementada, según las características del aparataje empleado, con información adicional como por ejemplo valores de color o coordenadas GPS²¹. Cada toma produce una imagen parcial y aislada del resto, por lo que posteriormente al proceso de escaneado se deberá emprender la labor de procesamiento de esos datos para lograr el sólido final, sobre el cual podrá obtenerse el modelo texturizado, pudiéndose realizar esta acción de forma automática, cuando el equipo disponga de los dispositivos de captura de este tipo de información, o de manera externa a partir de la combinación con tomas fotográficas digitales de alta calidad, generando finalmente de esta forma...una maqueta de la realidad en el que adquiere una especial importancia la conservación de las proporciones o relaciones espaciales relativas²².

4.2.2. Tipos de dispositivos

Existe cierta variedad en cuanto a la tecnología y aparataje empleado durante ese primer proceso de registro de datos, por lo que debemos ser conscientes de las propiedades y características de las mismas con el fin de que sean las adecuadas para nuestro campo de aplicación y/o objetivo planteado²³.

Generalmente los tipos de dispositivos que más amplia difusión y aplicación está encontrando en nuestro ámbito de trabajo²⁴ son aquellos terrestres, sin contacto y de carácter activo (emisión de algún tipo de señal), basados en la triangulación espacial (uno de los varios sistemas de análisis del retorno de la emisión emitida), sistema de gran precisión a la hora de documentar piezas de dimensiones entre los pocos centímetros hasta los 2-3 metros.

²¹ Véase ANEXO_IV Glosario Definiciones.

²² FARJAS, M.; MORENO, E.; GARCÍA, F.J. *La realidad virtual y el análisis científico: De la nube de puntos al documento analítico*, p. 142

²³ Para una ampliación de la información sobre distintas tecnologías de escaneado láser 3D véase ANEXO_II Escáneres Láser 3D.

²⁴ Refiriéndonos en este caso principalmente a Patrimonio Cultural Mueble.

Tabla_ 2: Características modelos de Escáneres 3D documentados.

Escáner	Tipo de escáner y energía empleada	Sist. Medición	Modos/Lentes	Toma de puntos media	Precisión Típica	Tiempos de Escaneado seg/escaneo	Distancia al objeto	Peso	Otros
Konica Miolta VI 900	Óptico sin contacto	Triangulación	Tele f/25 mm. Middle f/14 mm. Wide f/8mm.	±300.000	±0,020 mm.	0,3 (modo <i>Fast</i>) 2,5 (modo <i>Fine</i>) 0,5 (modo <i>Color</i>)	0,6-2,5 mm. (2m. lente <i>Wide</i>)	aprox. 11 kg.	Auto-posicionador: base rotatoria
Konica Miolta VIVID 9i	Óptico sin contacto Haz láser	Triangulación	Tele f/25 mm. Middle f/14 mm. Wide f/8mm.		±0,050 mm.	estándar: 2,5	de 0,5 m. (modo <i>Estándar</i>) a 2,5 m. (modo <i>Extendido</i>)	aprox. 15 kg.	Auto-posicionador: base rotatoria Registro RGB
Konica Miolta VIVID 910	Óptico sin contacto Haz láser plano		Tele f/25 mm. Middle f/14 mm. Wide f/8mm.	entre los 307.000 (modo <i>Estándar</i>) y los 77.000 (modo <i>Rápido</i>)	±0,040 mm.	2,5 (modo <i>Estándar</i>) 0,3 (modo <i>Rápido</i>)	de 0,5 m. (modo <i>Estándar</i>) a 2,5 m. (modo <i>Extendido</i>)		Auto-posicionador: base rotatoria Registro RGB
Minolta VIVID 3D	Óptico sin contacto Haz láser	Cámara/s					inferior a los 5 m.		
Leica HDS3000	Sin contacto Implusos de alta velocidad			4.000 puntos/seg.					
Leica-ScanStation C-5	Sin contacto Por pulsos	Tiempo de vuelo		hasta 50.000 pnts/seg	hasta ±0,1mm.		hasta 300 m.		
FARO FOCUS 3D	Sin contacto	Diferencia de Fase					hasta 120m.		
FARO FOCUS 3DX 130				hasta 976.000 pnts/seg.	rango error: ±2mm.		0,6-130 m.	5,2 kg.	Cámara integrada
FARO Láser ScanArm V3	Corto alcance			19.200 pnts/seg.			hasta 60 mm. (amplitud efectiva)	370 gr,	Brazo telescópico articulado
NextEngine	Óptico sin contacto	Triangulación	Wide Macro	50.000 pnts/seg.	Wide ±0,381 mm. Macro ±0,127 mm.				Auto-posicionador: base rotatoria

Este tipo de escáneres ...emiten luz láser para determinar la forma y posición de un objeto, ayudándose de una cámara para localizar la traza láser proyectada sobre el objeto. El emisor láser, la cámara y la traza proyectada sobre el objeto forman un triángulo, de ahí el nombre de la técnica. A partir de ese triángulo y aplicando técnicas de geometría podemos obtener la posición de cada punto del objeto. Conocemos la distancia entre la cámara y el emisor láser (uno de los lados) y también el ángulo del emisor láser. El ángulo del vértice de la cámara (paralaje) puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara (Imagen_5)²⁵.

A continuación se expone una tabla mostrando los principales rasgos de los modelos documentados en la bibliografía consultada, y por lo tanto de probada práctica en el registro de Objetos Culturales, (Tabla_2), información ampliada ANEXO_II.

4.2.3. Recomendaciones de uso

En base a la documentación consultada, se ha compilado una serie de recomendaciones sobre aquellos aspectos que deberán ser tenidos en cuenta, en el momento de emprender un proyecto que contemple el uso de estos dispositivos.

A la hora de trabajar con estas tecnologías, previamente se deberá hacer un estudio minucioso de la pieza a documentar, para, de este modo, evaluar las

²⁵ <http://www.3dimpresoras3d.com/que-es-un-escaner-3d/>

posibilidades que el escáner 3D puede ofrecernos respecto a las expectativas previas. De este modo se podrá evaluar si se está optando por la tecnología adecuada o no, y poder entonces acudir a la que mejores resultados nos vaya a ofrecer, o a una combinación de varias. Algunas de las consideraciones a tener en cuenta se muestran en las siguientes tablas (*Tabla_3; Tabla_4*²⁶).

<i>Tabla_3: Recomendaciones uso: datos previos a considerar.</i>	
Dimensiones del objeto a documentar	Por ej. en el caso de pequeños objetos o partes de uno de mayor tamaño si se puede considerar recomendable el empleo de escáneres laser de triangulación, que suelen proporcionar modelos con precisión menor a 1 mm, generando por tanto una gran densidad de puntos, es por ello que este tipo de herramientas puede no ser tan aconsejada en el caso de la digitalización de estructuras o ítems mayores.
Complejidad/Morfología del objeto a documentar	Un estudio detallado de estas características nos ayudará a programar la fase de escaneo, que posición es la más idónea, cuantas tomas serán necesaria de cada una de sus caras, etc.
Ubicación	En interior o en campo abierto, pueden requerir de una especial atención a las características lumínicas especificadas por el fabricante
Tipo de información buscada y fin último del modelo	Influirá en aspectos como formato de salida (si va a ser un modelo estático o animación), archivo, escala, texturización fotorrealista o de galería, etc.
Nivel de resolución, también de detalle y precisión requerido	En relación con la determinación apropiada de la densidad de puntos que se va a precisar para alcanzarlos. Para ello previamente se ha de determinar o tener claro el nivel de detalle mínimo que la captación de datos ha de lograr. El escáner a emplear para cumplir este requisito deberá tener un índice de precisión de medición que contemple el estipulado como mínimo en el proyecto de partida, por eje. si lo que se desea alcanzar es una toma de datos con una densidad de puntos menor a 2 mm, no se deberá acudir a escáneres cuya precisión sea de ± 2 mm.
Considerar el uso de dianas, puntos, o demás marcas de referencia y su ubicación	En el trabajo de procesado de datos faciliten el alineado de las tomas.
Metadatos	Como importante herramienta a la hora de la gestión de datos, se ha de contemplar que un mínimo de estos datos se encuentre registrados, entre ellos: -nombre de archivo de los datos en bruto -fecha de captura -datos del objeto registrado y proyecto en el que se engloba: nombre, nº identificativo, etc. -sistema de escaneo empleado -datos sobre la toma: nº de escaneo y densidad de puntos
Tiempo disponible y presupuesto para la ejecución del proyecto	
Nivel de conocimiento/especialización en la materia	En el caso de no contar con la posibilidad de acudir empresas externas
Seguridad	Véase ANEXO_II_Escáneres Láser 3D

<i>Tabla_4: Recomendaciones relación dimensión objeto-resolución.</i>		
Tamaño del detalle/superficie a registrar	densidad de puntos requerida para obtener un 66% de probabilidades de que el detalle sea visible	densidad de puntos requerida para obtener un 95% de probabilidades de que el detalle sea visible
10m.	3.500mm.	500mm.
1m.	350mm.	50mm.
100mm.	35mm.	5mm.
10mm.	3,5mm.	0,5mm.
1mm.	0,35mm.	0,05mm.

²⁶ BARBER, D.; MILLS, J. *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in Archaeology and Architecture*, p.10

Apuntar, por último, el importante recurso que al respecto brindan los textos que, desde diversos organismos, reuniones de especialistas/congresos e instituciones, nacionales e internacionales, vienen elaborándose en relación a propuestas de normalización y principios de aplicación con respecto al empleo de NN.TT. en el ámbito de la Conservación-Restauración del Patrimonio Histórico-Cultural. Destacamos:

La Carta de Cracovia, 2000, siendo este texto pionero a la hora de plantear entre sus fundamentos el adecuar las anteriores *Cartas de Restauro* al contexto actual, tal y como se expone ya en el preámbulo de la misma: *...al mismo tiempo los instrumentos y métodos desarrollados para la preservación correcta deben ser adecuados a la situación cambiante actual, que es sujeto de un proceso de evolución continua*²⁷.

La Carta de Londres, 2006, concebida *...como un medio de asegurar el rigor metodológico de la visualización por computadora como medio de investigar y comunicar el patrimonio cultural*, [así como ante la necesidad de establecer unos]...*principios reconocidos internacionalmente para el uso de la visualización por computadoras por investigadores, educadores y organizaciones de Patrimonio Cultural*²⁸.

La Carta Ename²⁹, primer texto de estas características auspiciado y ratificado por el ICOMOS, aprobado oficialmente en 2008, y desarrollado a partir de una serie de borradores. Contempla objetivos y aspectos como *...mejorar y desarrollar una tecnología y unas técnicas aplicadas a la interpretación del patrimonio que sean adecuadas y viables dentro de su respectivo contexto social, y establecer pautas para la formación profesional*³⁰.

A partir de las anteriores y ante la necesidad de especificidad y de *...avanzar en la creación de un documento internacional capaz de regular o al menos establecer un conjunto de recomendaciones en relación a la praxis de la Arqueología Virtual*³¹, comienza a redactarse el texto que ha dado lugar a la **La Carta de Sevilla, 2009**, texto desarrollado por la Sociedad Española de Arqueología Virtual (SEAV), a partir del I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación, ARQUEOLÓGICA 2.0.

²⁷

http://www.unesco.org/culture/natlaws/media/pdf/guatemala/guatemala_carta_cracovia_2000_spa_orof.pdf

²⁸ www.londoncharter.org

²⁹ Centro Ename para la arqueología pública y presentación del patrimonio, Flandes, base para crear el convenio Ename ICOMOS.

³⁰ http://www.esicomos.org/Nueva_carpetas/info_cartaENAMEsp.htm

³¹ <http://www.arqueologiavirtual.com>

4.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO: TOMA Y PROCESADO DE DATOS 3D. EJERCICIO PRÁCTICO

4.3.1. Motivación

La motivación base que ha propiciado la puesta en práctica de esta tecnología sobre unos fragmentos cerámicos concretos (recipiente de elevadas dimensiones y peso albergado en el Taller de C.-R. de Material Arqueológico de la UPV), se centra en la problemática que este tipo de hallazgos arqueológicos supone tanto a la hora de plantear su intervención restaurativa, presentando importantes problemas de manipulación y pre-montaje³² (dificultad de mantener provisionalmente los fragmentos unidos por medio de los sistemas tradicionalmente empleados como cintas adhesivas libres de ácidos, cosido por medio del empleo de resinas termoplásticas, etc.), así como a la hora de efectuar su correcto estudio tipológico-morfométrico. Aspecto éste vinculado al marco del proyecto HAR 2012-38391-C02-01 inicialmente mentado, cuyo desarrollo puede solventar problemáticas como la anteriormente especificada, por medio de la aplicación digital de programas que automaticen dicho proceso de pre-montaje.

Proyecto éste, que ofrece grandes posibilidades en cuanto al desarrollo de potencialidades de esta tecnología, pudiendo ser no solo aplicable sobre este tipo de materiales, sino pudiendo llegar a solventar muchos de los problemas de almacenaje, estudio e intervención derivado de la coyuntura experimentada en la mayoría de excavaciones arqueológicas, de recuperación de grandes cantidades de materiales arqueológicos fragmentados para los que muchas de las veces no se cuentan con recursos suficientes para su correcto estudio y/o tratamiento, quedando relegado por ello en sótanos y almacenes.

Planteándose también, esta fase del TFG, como un ejercicio de confirmación práctica de los datos obtenidos a partir de la información consultada, intentando por ello comprobar aspectos como: las ventajas que la aplicación de esta técnica presenta frente a los tradicionales sistemas de registro gráfico en la documentación de material arqueológico (aspectos como tiempos de trabajo, dificultades de manejo del software partiendo desde su total desconocimiento, posibilidades de visionado, que información nos ofrecen estos modelos 3D frente a las clásicas representaciones de sección y alzado, etc.).

³² ...por medio del cual analizaremos la ubicación física y espacial de cada fragmento, tanto a nivel individual como en conjunto, y en particular en lo que se refiere a la correspondencia de cada uno con respecto a los otros. CARRASCOSA, B. *La Conservación y Restauración de Objetos Cerámicos Arqueológicos*, p.126

Imagen_6: Flujo de las fases de trabajo seguidas.



4.3.2. Metodología desarrollada

Por medio del siguiente diagrama de flujo (*Imagen_6*) se exponen las fases que generalmente contempla un proceso de trabajo de estas características, según han sido ejecutadas en la aplicación práctica de esta tecnología (por medio del escáner láser 3D Konica Minolta VI 900³³ y posterior procesado con la asistencia del software Geomagic Studio[®]), así como los resultados obtenidos (ANEXO_III.6; ANEXO_III.33). Fases que a continuación se procederá a exponer de manera detallada, siendo posible una mejor visualización de las imágenes y ampliación de información en el ANEXO_III³⁴.

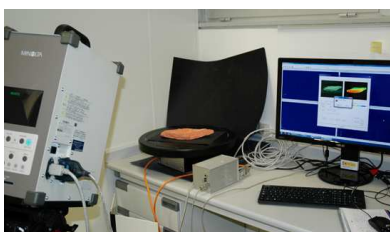
A. ESTUDIO PREVIO

Fase que determinará un proceso de toma de datos eficiente y correcto, al tiempo que disminuirá el volumen de información registrada al realizar únicamente el número de tomas estrictamente necesario.

Disposición Fragmentos: sobre la plataforma rotatoria (auto-posicionador). Dadas sus características morfológicas (*Imágenes_7-8*), se optó por situarlos horizontalmente.

³³ Características del dispositivo en ANEXO_IIIa

³⁴ Por lo que se recomienda la lectura desde el mismo, al ofrecer una imagen visual del proceso mucho más clara, y detalles del proceso sustancialmente ampliados.



Imagen_ 7: Vista Anverso fragmento nº 33.

Imagen_ 8: Vista Reverso fragmento nº33.

Imagen_ 9: Proceso de escaneado de los fragmentos, laboratorio de IRP.

Número Registros: se optó por la opción de escaneado de 360°, con un total de 8 divisiones por cara de cada fragmento, (cifra que determina el grado de rotación, al establecerse la regla $360^\circ/n^\circ$ divisiones).

Precisión: El escáner a emplear se ajustaba perfectamente a los requisitos contemplados de partida en cuanto a precisión deseada, <1mm.

Distancia Escáner-Pieza: Dentro del rango de trabajo contemplado por el dispositivo (0,6-2,5 m.), situándolos en torno a los 30 cm.

Rango Escáner-Dimensión Pieza: En base a las opciones que ofrece y los tamaños medios de ambas piezas, $\pm 30 \times 20$ cm., se consideró el testar dos de las distancias focales con las que cuenta este dispositivo (Modo *Midle f/14mm*, fragmento nº 6, y Modo *Wide f/8mm* fragmento nº33), obteniendo así una densidad de registro que se traduce en un archivo total para el fragmento nº 6 de 86,5 MB, frente a los 142 MB del nº33.

Puntos Referencia: Uso de dianas o elementos de referencia no fue contemplado dada la simplicidad morfológica de la pieza a documentar.

Otros: en cuanto a las condiciones lumínicas, no hubo necesidad de intervenir en las mismas dada que el ámbito lumínico de operación óptica de este sistema se encuentra dentro del rango “ambiente de oficina” (< 500 lx).

B. ESCANEADO 3D: TOMA DE DATOS

La importancia de la meticulosidad y precisión en esta fase tiene como objetivo evitar la acumulación de errores. El escaneado se hizo en modo automático, ajustando los parámetros en base a las consideraciones planteadas de partida (*Imagen_9*).

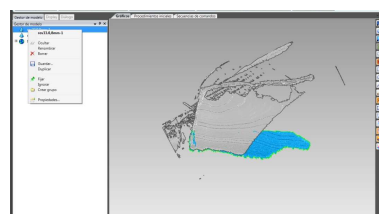
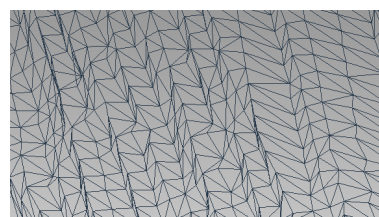
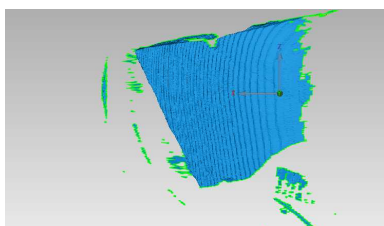
Para este caso concreto, y tras la realización de una serie de pruebas previas, se consideró que como número mínimo de tomas por fragmento: 16 registros. Posteriormente la información se ordenará en base a familias de escaneado, esto es aquellas perteneciente a cada una de las caras del fragmento en cuestión, denominándolas A (Anverso) y R (Reverso) + el número del ítem al que corresponden.

El formato de salida de todos ellos ha sido .STL compatible para trabajar con el software seleccionado para el posterior procesamiento de los datos, Geomagic Studio®.

C. PROCESADO 3D DE DATOS

Objetivo: lograr el que, a partir de la adquisición de datos primarios en forma de nube de puntos, el objeto adquiera propiedades geométricas con superficies claramente definidas, y su posterior refinado y procesamiento para lograr el sólido sin por ello verse alteradas en ningún momento precisión y/o otras características.

Programa: Geomagic Studio®, presenta un entorno fácilmente comprensible, (explicación clara y precisa de cada una de sus herramientas), y el archivo .STL, una vez importado, lo muestra ya directamente como malla poligonal rellena (color sólido estándar azul con iluminación por defecto desde



Imagen_ 10: Vista inicial de un escaneado.

Imagen_ 11: Vista/Detalle en posición PUNTAS, (obsérvese la densa malla creada).

Imagen_ 12: Ventana opciones visualización/oculta, etc. de un archivo concreto.

2 puntos), (*Imagen_10*). Con todo ofrece distintos modos de visualización posibles, panel *DISPLAY: Puntos, Triángulos, Puntas (Imagen_11), Textura Estándar*, etc.

C.1. Importar Archivos

Desde la opción *Importar*: Selección de todos los archivos correspondientes a una misma familia. Una vez abiertos se pueden activar o desactivar, (para evitar una visualización de todos a la vez, y poder trabajar toma a toma), (*Imagen_12*).

C.2. Depurado: Eliminación Ruido y Datos Inecesarios

Objetivo: eliminar toda aquella información que no aporta información alguna (ej. parte de la plataforma giratoria, etc.).

Proceso: inicialmente de forma manual, (herramienta de selección *LAZO+SUPR*). Posteriormente se hizo uso de una de las opciones automáticas para la selección de datos, *SELECCIONAR LÍMITES+SUPR*, logrando de este modo un depurado del contorno del objeto (*Imagen_13*), evitando así posibles deformaciones en dichas áreas que posteriormente servirán de contacto entre fragmentos.

Resultado: obtención de un contorno mucho más claro de nuestro fragmento, y una significativa disminución de datos.

C.3. Alineación de Familias

Objetivo: restablecer la conexión entre las distintas tomas hasta ahora descohesionadas = obtener el sólido final completo.

Proceso: inicialmente se procederá por familia, logrando una vista completa del anverso (familia A) y reverso (familia R). El siguiente paso consiste en alinear estas dos familias para lograr el modelo global.

Alineación Manual: Barra Herramientas>*ALINEACIÓN>REGISTRO MANUAL>Registro punto bn*. Proceso que trabaja en base a un fragmento *Fijo*, al que se le van alineando el resto de fragmentos (*Flotantes*) para lo cual precisa de la determinación de puntos en común entre ambos ítems, (mínimo 3), (*Imagen_14*). Una vez alineado el primer fragmento se pulsará el botón *Siguiente* hasta completar la alineación de todos los fragmentos, entonces se pulsará el botón *OK*. Posteriormente se seguirán los mismos pasos para alinear ambas familias.

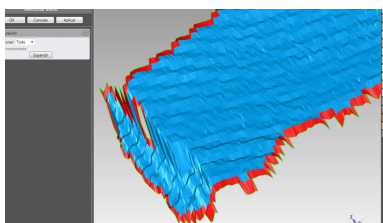
Herramienta Automática *REGISTRO GLOBAL*: permite un alineado más preciso y ajustado, (pudiendo reducir el solapamiento).

Durante todo el proceso la ventana *DIÁLOGO* va ofreciendo información acerca de la Distancia Media y Desviación estándar entre los fragmentos alineados.

C.4. Fusionado

Objetivo: las familias ya alineadas se convertirán en un solo objeto.

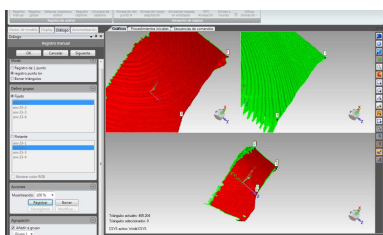
Proceso Automático: seleccionar objetos a fusionar>barra herramientas *POLÍGONOS>COMBINAR>FUSIONAR*. Ofrece parámetros manipulables que determinarán las propiedades del objeto final. En este caso se trabajó con los ofrecidos de manera estándar por el programa: *Reducción Local de Ruido*:



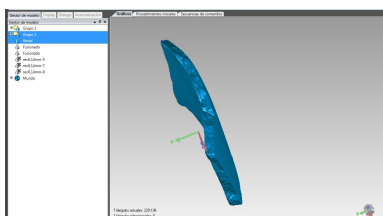
Ninguna y parámetros tipo en cuanto a *Tolerancia 0,0 mm.*), *Interacción*, *Eliminar Solapamientos*, etc.

El resultado final es un nuevo archivo del sólido completo, (*Imagen_15*)

Objetivo: subsanar posibles irregularidades y errores en sus superficies, zonas con vacío de información, intersecciones, caras redundantes, vértices demasiado agudos, caras *no-manifold*, etc.



Proceso: aplicación de aquellas herramientas que el software proporciona para corregir este tipo de situaciones, existiendo la posibilidad de solventar caso a caso de manera manual, o emplear la herramienta *MESH DOCTOR*, que de manera automática detecta irregularidades y las solventa. Seleccionar el objeto>barra herramientas *MESH DOCTOR*>*Aplicar*. Para su ejecución el programa abre una ventana *DIÁLOGO* en el que se detallan todos los errores encontrados.



Suavizado manual: *POLÍGONOS*> *SUAVE*>*Relajar* y *Reducir Ruido*. Rango seleccionado de ± 6 , que, si bien aún mantenía ciertas irregularidades en superficie, también era el que mejor resultados ofrecía en cuanto al grado de detalle de los cortes de los fragmentos, al tiempo que presentaba un rango de desviación de 0,081 mm. para el fragmento nº33; 0,044 mm. para el fragmento nº6.

C.6. Simplificado

Objetivo: disminuir la densidad de datos=disminuir el peso del archivo generado, siempre bajo el estricto control de que la información/superficie del sólido, no se vea afectada. En base a esta consideración y tras una serie de pruebas, se optó por una reducción del 50% de los iniciales 229.138 triángulos (nº6) y 232.340 (nº33).

C.7. Guardar y Exportar

El programa ofrece distintas posibilidades tanto de *GUARDAR/GUARDAR COMO*, seleccionando el formato que más se ajuste a nuestras necesidades, como de *EXPORTAR*, en este caso se hizo uso de la opción interactiva de PDF para facilitar un completo visionado de la pieza lograda (ANEXO_III.6 y ANEXO_III.33)

Imagen_ 13: Detalle uso herramienta *SELECCIONAR LÍMITES*.

Imagen_ 14: Proceso *ALINEACIÓN* manual.

Imagen_ 15: Vista tras *FUSIONADO*.

D. OTROS: EXTRACCIÓN DE DATO A PARTIR DEL SÓLIDO 3D

A partir del modelo 3D generado el programa empleado (*Geomagic Studio* y *Control*®) ofrece distintas herramientas muy interesantes para nuestro ámbito de estudio, como Sección a través del objeto; Medidas de las distancias seleccionas y/o grosores y Cálculo de Área.

4.3.3. Conclusiones

A partir de la aplicación directa de este tipo de tecnología se han podido establecer una serie de conclusiones y observaciones concretas al respecto de este dispositivo y metodología de trabajo, aspectos que de manera teórica ya se habían planteado en apartados anteriores.

Con respecto al escáner: se han confirmado los aspectos relacionados con la velocidad y precisión en la captura de datos, si bien es cierto que también se

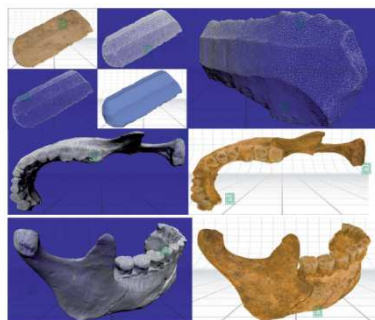
ha podido observar la necesidad de un correcto establecimiento de los parámetros del escáner previo a su puesta en marcha, a saber resolución, selección de la lente, y demás parámetros anteriormente comentados, entre los que podemos incluir el vigilar que la pieza no sufra vibración alguna durante el proceso de escaneado, que puede dar lugar a ciertas irregularidades en el registro de la superficie, como es muy posible que haya sido lo ocurrido en nuestro caso.

En cuanto al procesado de datos: gracias al programa empleado, de fácil compresión, la ejecución de las fases aquí expuestas, en su forma más simple, se ha realizado de manera fácil y sencilla, si bien es cierto que no se ha logrado poner en práctica el máximo de posibilidades que el programa brinda (aplicar textura realista; extraer datos contrastables como en el caso de las mediciones, etc.), para lo cual se precisaría de un estudio mucho más en detalle del mismo.

Con todo apuntar la dificultad que a veces ha supuesto la alineación de determinados fragmentos (dificultad a la hora de determinar puntos comunes), por lo que se consideraría útil el emplear elementos de referencia en un futuro.

En cuanto a los modelos finales obtenidos: se ha cumplido la premisa de partida de precisión en torno al mm., al trabajar siempre con desviaciones por debajo de esta cifra.

Con respecto a las superficies, si bien es cierto que anverso y reverso han registrado leves irregularidades, en las zonas de fracturas o cortes, el registro de la morfología obtenido es mucho más aceptable con respecto a, por ejemplo, posibles aplicaciones como ejecutar los modelos en programas de ensamblaje de fragmentos de piezas.



Imagen_ 16: Ejemplo de digitalización de diferentes tipos de soporte: lítica y hueso.

Imagen_ 17: Modelado de una vasija precolombina.

Pertenece a la cultura Nazca-Perú, (ss.I-IX d.C), mediante el uso del Escáner Láser NextEngine® y su propio programa de procesamiento de datos, se logró una precisión por debajo del mm. Modelado 3D (superior)/ Vista Real (inferior).

4.4. APLICACIONES, POSIBILIDADES Y LIMITACIONES

Como ha quedado patente a lo largo de párrafos anteriores, tanto en cuanto a nuestro ámbito de trabajo, como en básicamente todos ya no tan nueva tecnología, (experiencias pioneras destacan ya a finales del pasado siglo con publicaciones como la de Renfrew, C. *Arqueología Virtual*), se encuentra aun en plena expansión, es por ello que, para finalizar el bloque, a continuación se exponen algunas de esas posibilidades de aplicación en el ámbito de la C.-R. de Materiales Arqueológicos³⁵, ilustrándolas en algunos casos por medio de un número limitado de ejemplos, a saber los más destacados de la documentación consultada y/o relacionados con el tema objeto de este trabajo, Escáner Láser 3D-Material Arqueológico. La estructuración seguida se ha basado en las fases principales que contempla cualquier intervención general de C.-R. de BB.CC.

4.4.1. Aplicaciones y Posibilidades

DOCUMENTACIÓN PREVIA:

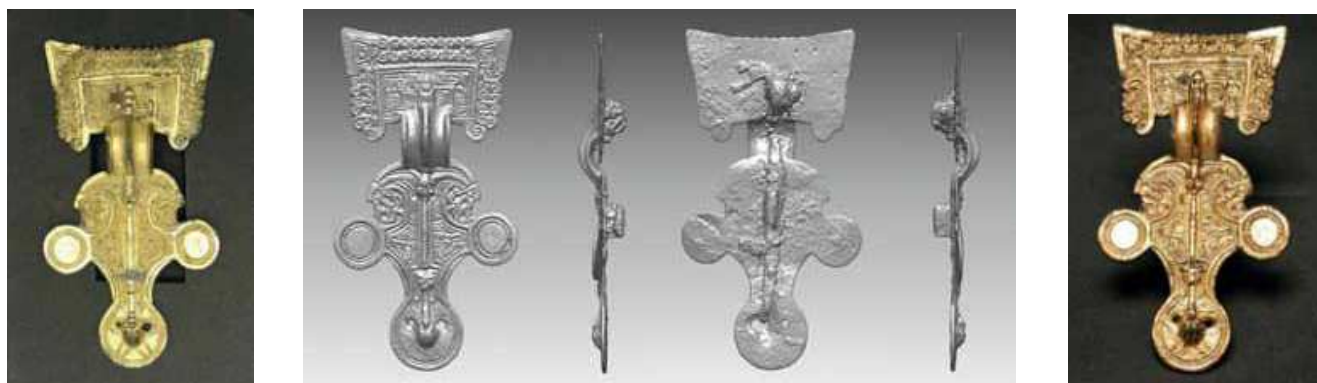
- **Modelos 3D virtuales y/o físicos:** De elevado realismo y precisión, posibilitan un acercamiento continuo y muy ágil a la pieza a documentar, sin que por ello la misma sufra una excesiva manipulación, aspecto éste de especial interés cuando el ítem no se encuentra a nuestro alcance o cuando presentan estados de conservación especialmente delicados, a lo que se le suma en el caso concreto de los materiales arqueológicos, el posibilitar el registro de grandes cantidades de restos o piezas de excesivo tamaño-peso, el asegurar la preservación de posibles huellas de uso o metodología de fabricación (por ejemplo marcas de torno en la cerámica, de descarnado en los restos óseos, de la metodología de talla en lítica prehistórica, etc.). Favoreciendo la correcta ejecución de los procesos que generalmente conforman esta fase. Algunos ejemplos de los resultados obtenidos se ilustran en las *Imágenes_16*³⁶ -17 a y b³⁷; *Imágenes_18 a, b y c*³⁸.

³⁵ En algunos casos de aplicación los ejemplos mostrados se han ampliado al campo escultórico, a falta de aplicaciones documentadas sobre materiales arqueológicos.

³⁶ LÓPEZ, F. J. *Dibujos de ayer y hoy, modelos 3D de hoy y mañana. Modelización de materiales prehistóricos*, p.336

³⁷ SOLERA, A. A. *Obtención del modelo tridimensional de una vasija precolombina de la cultura Nazca-Perú mediante sistemas láser escáner 3D*, p.22;87

³⁸ VV.AA. *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to users on laser scanning in Archaeology and Architecture*, p.27



Imagen_ 18: Réplica de broche anglosajón de bronce dorado.

Del 400-500 d.C., de dimensiones 160 x 90 mm., del Museo Mundial de Liverpool, cuya superficie era demasiado frágil para el empleo de moldes en la realización de réplicas. Tecnología: láser escáner Modelmaker 3DX, situado a 50 cm. del objeto.

Programa procesamiento datos: InnovMetric Polyworks v.10 y RapidForm.

Original (Imagen 18a, derecha)/Modelado (Imagen 18b centro)/Réplica (Imagen 18c izquierda).

- **Toma de Datos Métricos:** De partida mucho más precisos, siempre y cuando se tenga en cuenta aspectos como el grado máximo de resolución y precisión del escáner, posibilitan que, por ejemplo, la orientación de la pieza sea más certera que en los casos tradicionales en los que siempre se ha de tener en cuenta el componente de la subjetividad que puede llevar a errores, más o menos significativos (*Estudios realizados por (LERNARDI, 1991) estiman el error con este procedimiento en $\pm 15\%$ ³⁹*), al tiempo que facilita la determinación de diámetros y ejes de revolución (en el caso de la cerámica), cálculos de volúmenes, áreas de interés, realización automatizada de diagramas de líneas, (*Imágenes_19⁴⁰-21⁴¹*), etc⁴². A este respecto encontramos desde ejemplos que únicamente muestran la metodología seguida a otros como *Digitalización y reconstrucción de elementos cerámicos arqueológicos a torno*, 2010, cuyo estudio está centrado en el desarrollo de procesos informáticos (CAROSIO, S. A.; AGUILAR, J. P.; BÁRCENA, R., 2013).

- **Análisis del Estado de Conservación:** Capacidad aun por desarrollar al máximo a la hora de realizar Croquis de Daños, encontramos proyectos que abren las vías de estudio a esta potencial herramienta (*Imagen_22⁴³*).

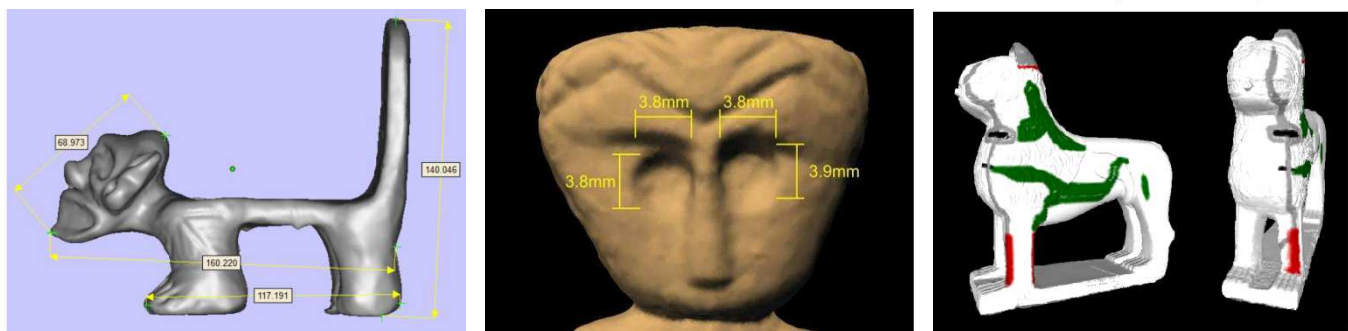
³⁹ MELERO, F. J.; LEÓN, A.; TORRES, J. C. *Digitalización y reconstrucción de elementos cerámicos arqueológicos de torno*, p. 137

⁴⁰ PANTOJA, A. *Obtención del modelo tridimensional de una pieza de terracota mediante tecnología laser escáner 3D*, p.65

⁴¹ MOZAS, A. et al. *Estudio geométrico piezas arqueológicas a partir de modelo virtual 3D*, p.111

⁴² Para ampliar sobre el tema pueden consultarse artículos como el de CAROSIO, S. A.; AGUILAR, J. P.; BÁRCENA, R., 2013, en donde además de mostrar un ejemplo práctico de escaneado y modelado 3D de piezas cerámicas, posteriormente se procede a establecer cálculos por medio de aplicaciones concretas como "Módulo Capacidad" del programa en este caso empleado MATLAB®; o el de SOPENA, M.C., 2010, en el que los datos se extraen a partir de dibujos informatizados y posteriormente tratados por medio de programas vectoriales como autoCad

⁴³ LAMOLDA, F.; CANO, P. *Registro mediante la utilización de escáner láser 3D del estado previo a la intervención de la Fuente de los Leones*, sin nº p.



Imagen_ 19: Diagrama de líneas a partir del modelado 3D (Mediciones/Cotas).

Imagen_ 20: Estudios geométricos. A partir del modelado 3D, por medio de un Escáner Minolta VI 900®, con una precisión $\pm 0,1$ mm., 2011.

Imagen_ 21: Proyecto que trabaja sobre la generación de mapas de daños.

A partir de modelados 3D, escáner láser empleado Minolta VIVID 910®, con una resolución menor a 1 mm.; software procesamiento de datos 3D Studio Max®, entre otros, 2009.

- **Documentación Gráfica:** Permite una visualización mucho más clara y fácilmente comprensible por todos, al introducir esa tercera dimensión (volumen) y ampliar los puntos de vista, no quedando ya supeditados a los determinados por el dibujante, sin por ello perder el rigor presentado por el tradicional dibujo arqueológico, al posibilitar la ejecución de las necesarias vistas sobre la pieza modelada (sección-alzado) (*Imagen_23*⁴⁴).

PLANIFICACIONES/ELABORACIÓN PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN:

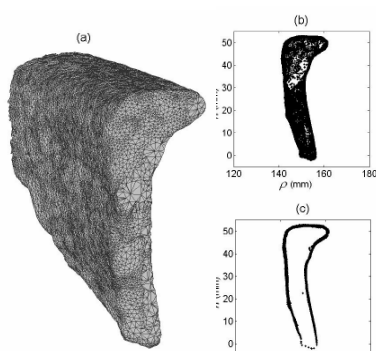
Tanto en base a los datos obtenidos en las fases anteriormente expuestas, como por el hecho de que los programas empleados en la generación de sólidos 3D puede facilitar el planteamiento de propuestas de Restauración, al confrontar y comprobar de forma previa las diferentes posibilidades barajadas para su intervención, por ejemplo en cuanto a reconstrucciones de faltantes (*Imagen_22*⁴⁵) (virtuales o físicas como se verá a continuación en el apartado de la intervención propiamente).

RESTAURACIÓN/INTERVENCIÓN:

- **Reconstrucción Virtual y/o Física,** impresión 3D, de los fragmentos o partes perdidas, bien en base a la reconstrucción virtual de la laguna a partir de la pieza original, bien por medio de la digitalización de partes o elementos de idénticas características-morfología a la desaparecida. Mientras que la acción virtual permitirá una mejor visualización completa de la pieza, favoreciendo su estudio y difusión-comprensión, (de principal aplicación en proyectos de índole museística, como se verá más adelante); a partir de su impresión digital se podrá emplear en la realización de moldes para la generación de injertos/prótesis o componentes completos, en el material más adecuado, y con una buena precisión, sin por ello verse en ningún momento

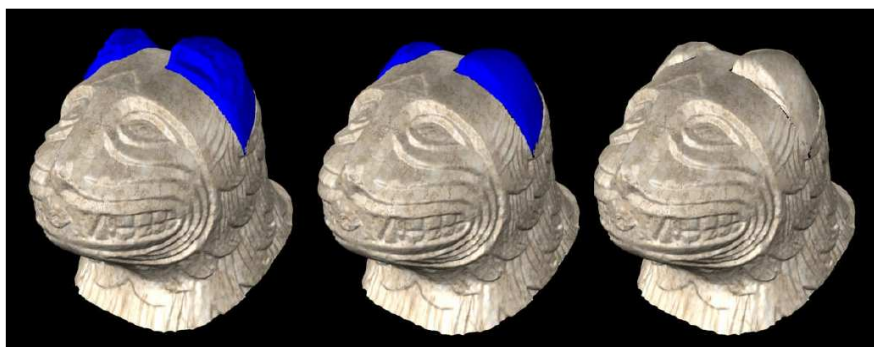
⁴⁴ KARASKI, A.; SMILANSKY, U. *3D Scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory*, p15. En este caso concreto de aplicación, se empleó el sistema de escaneo 3D por medio de luz estructurada y dos cámaras digitales.

⁴⁵ LAMOLDA, F.; CANO, P. Op. Cit.



Imagen_23: Sección de fragmento cerámico a partir de su modelado 3D.

Imagen_22: Simulación virtual de actuación sobre el modelo sustitución de orejas.



afectado el original, pues ya no será necesario extraer el negativo de un original directamente. En cualquier caso el grado de exactitud alcanzado, especialmente importante a la hora de imprimir, dependerá, por supuesto de la pericia-experticia del operador, pero y principalmente del dispositivo de escaneado y programas empleados, no solo de procesamiento de datos, sino también aquellos como los de aplicaciones de cálculos estadísticos, (como Statgraphics®) y/o numéricos (como Matlab®).

- **Redefinición del Término Anastilosis:** Como bondades de este tipo de reconstrucciones ya que a partir una mínima cantidad de restos, o de restos más o menos diseminados de manera descontextualizada, contando con el respaldo de una información científica lo suficientemente completa del mismo, por medio de su realización virtual, se lograría devolver a estos ítems una lectura coherente que facilite su contemplación y comprensión.

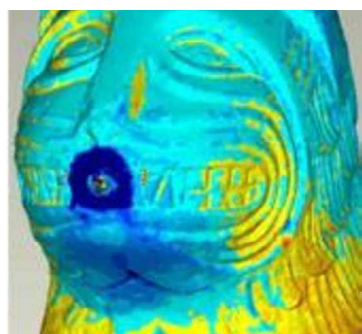
- **Evaluación del Proceso de Intervención:** A partir de los sólidos obtenidos se posibilita la evaluación de cambios experimentados por la pieza durante su intervención, estableciendo comparativas entre el antes y el después del proceso; e incluso posibilitan la realización de cálculos de áreas intervenidas⁴⁶ (*Imágenes_24*⁴⁷-*25*⁴⁸)

- **Búsqueda de Uniones entre Fragmentos:** De gran interés cuando encontramos la pieza o obra muy fragmentada, más aun si los fragmentos se encuentran diseminados y mezclados, como es en el caso, por ejemplo, de las excavaciones arqueológicas, lo que dificulta en gran medida su posterior reconstrucción y por tanto un estudio global de los hallazgos. En la mayoría de los casos los procesos de “rejuntado” de fragmentos supone una inversión, de tiempo y recursos humanos, ingente, por lo que parte importante de este material queda relegado a los almacenes de los museos.

⁴⁶ Sobre el tema de cálculos de diferencias de volumen durante las fases de limpieza véase también MIJANGOS, S.; ORTEGA, A., 2006, en el que se expone el desarrollo de aplicaciones concretas, emprendidas a partir del 2003, para el control de los estados de conservación y seguimientos durante procesos de intervención, con el ejemplo de análisis comparativos realizados sobre el proceso de limpieza de un óleo/lienzo.

⁴⁷ TORRES, J.C. et al. *Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio*, p.53

⁴⁸ LAMOLDA, F.; CANO, P. Op. Cit.



Imagen_ 25: Obtención de cálculos reales sobre áreas intervenidas.

Imagen_ 24: Zonas modificadas durante el proceso de restauración mostradas en escala de color.

En torno a esta problemática, y ya desde principios de siglo⁴⁹, se han empezado a desarrollar estudios, softwares y tipos de algoritmos que, a partir de la digitalización tridimensional de los fragmentos y la extracción de datos como geometría, formas, superficies, color, textura, etc., faciliten esta tarea, así se ha pasado de proyectos interactivos semi-automáticos a partir de parejas de fragmentos (MELLADO et al, 2010, *Imagen_26*⁵⁰), proyectos que plantean el uso de algoritmos como *Fragsmatch*[®], basados en comparativas de vectores y superficies (FILIPPAS, D. y GEORGOPOULOS, A, 2014), algoritmos basados en la caracterización de la geometría, (numérica), del fragmento, como el proyecto europeo *PRESIOUS*, iniciado en 2013 y actualmente desarrollándose en conjunto por varias universidades e instituciones de Alemania, Noruega y Grecia, a otros sistemas que se basan en mapas de profundidad proyectivos GPU que toman como datos base la caracterización y geometría de los fragmentos para buscar zonas de contacto entre ellos, etc. También, y de manera destacada, el proyecto ya mentado a cuyo marco se vincula el presente TFG.

CONSERVACIÓN PREVENTIVA:

Por medio de la digitalización de los objetos culturales, y obtención de las ya comentadas copias, virtuales o físicas, también se logra invertir en su conservación futura al evitar la degradación que muchas de estas piezas sufren ante una exposición continuada al público y demás factores ambientales/climáticos adversos, además de evitar el estrés y posibles daños sufridos durante los continuos intercambios de piezas entre museos y demás entidades, etc. así por ejemplo *...la digitalización del David de Miguel Ángel se ha usado para analizar la acumulación de contaminantes en la escultura y su estabilidad. Este último estudio ha permitido determinar el origen de fisuras existentes en el tobillo debidas a las tensiones producidas por el desplazamiento del centro de gravedad respecto a la base de sustentación (SCOPIGNO 2003)*⁵¹. En base a estas consideraciones encontramos casos tan espectaculares como los alcanzados con la Neocueva de Altamira, Tumba de Tutankamón (*Imagen_28*⁵²), la Dama de Elche (*Imágenes_27*⁵³), etc. replicas físicas exactas que permiten la exposición del objeto y disfrute del público, preservando al tiempo el original de los agentes que lo estaban degradando.

- **Actuaciones Preventivas y/o de Control de Alteraciones/ Seguimientos Periódicos:** al poderse comparar los datos del estado en el que se encuentre una pieza con los tomados en su momento de digitalización,

⁴⁹ Algunos de los estudios más pioneros al respecto: 2003, J.C. MCBRIDE y B.B. KIMIA.; 2006, O.-X. HUANG et al.; 2008, A.R. WILLS y D.B.

⁵⁰ <http://cientificos.pe/reconstruyendo-el-pasado-la-computacion-y-la-herencia-cultural/>

⁵¹ TORRES, J.C. Op. Cit. p.53

⁵² <http://www.factum-arte.com/pag/272/Trabajo-sobre-el-facs-mil-de-Tutankam-n>

⁵³ <http://www.factum-arte.com/pag/306/Facsimil-de-la-Dama-de-Elche>

Imagen_ 26: Emparejamiento de fragmentos.

Izquierda: Emparejamiento digital automático de fragmentos;

Derecha: Ejecución física del proceso.



(comentado en casos anteriores), de forma que se establezcan unos escaneados de la pieza a intervalos de tiempo constante, por medio de los cuales sea posible advertir, en los primeros estadios de afección, aspectos como cambios sutiles de coloración, geometría o dimensión, aparición de humedades, eflorescencias salinas, colonias biológicas, acumulaciones de contaminantes, etc.

Pero también han de contemplarse las posibilidades que el escaneado puede brindar a través de la aplicación de distintos programas enfocados hacia una “simulación computerizada” mediante la cual introduciendo posibles variables que vaya a vivir o haya vivido la pieza nos informe sobre su pasado (el porqué de su estado de conservación) o su futuro (cómo intervenirla, procesos de restauración, cómo pueden reaccionar en el tiempo, etc.). A este respecto sería interesante la aplicación simulada de procesos de envejecimiento acelerado, tal y como hasta ahora se hace para evaluar resultados de productos de aplicación en nuestro ámbito, que conjugados con el modelo nos proporcionase datos a la hora de evaluar las condiciones de conservación más idóneas y específicas para caso.

- **Diseño de Soportes para su Embalaje o Exposición:** otra de las aplicaciones especialmente importante en el caso de objetos delicados, al evitar su excesiva manipulación, mediante lo que se podría decir un modelado del negativo y posterior impresión 3D, con altos rangos de precisión.

DIFUSIÓN/AMPLIO ACCESO:

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, por medio de estos sistemas las obras, en todas sus vistas, se ponen al alcance de todos, sin limitaciones espaciales (lugares cerrados por riesgo de degradación; ubicaciones remotas que suponen largos viajes para un disfrute directo, etc.). Del mismo modo puede ser una potente herramienta en el campo de la didáctica, haciendo de la enseñanza de la cultura algo mucho más atrayente. Para ello esta tecnología se está aplicando en la realización de:



Imagen_ 27: Dama de Elche, Original y Réplica.

De alta resolución y a escala real, realizada en 2005, para el Museo Arqueológico Provincial de Alicante, MARQ, y diputación de Alicante. El original se encuentra en el Museo Arqueológico Nacional, Madrid. Tecnología escáner láser empleada: Minolta Vivid 910®, 3D ModelMaker W® y Seti Escáner® (Factum Arte).

Imagen_ 28: Réplica Tumba de Tutankamon (Factum Arte).



- **Archivos digitales de sólidos 3d:** que agilizarían y globalizarían el intercambio y consulta de información. A partir de estos archivos digitales se podría comenzar a elaborar bases de datos virtuales a las que los sucesivos hallazgos las vayan completando y ampliando, de forma que en un futuro puedan llegar a establecerse como verdaderos archivos de imperante consulta, por ejemplo a la hora de clasificar materiales/realizar estudios tipológicos, (así como hasta el momento vienen siendo, en el caso concreto de la cerámica, por ejemplo DRESSEL, a finales del s. XIX; MAÑA, 1951; BELTRÁN, 1970 tipos peninsulares; LAMBLOGLIA, 1955 tipos adriáticos, etc. para las ánforas romanas, o DRAGENDORFF, 1895; MEZQUIRIZ, 1961; MAYET 1984; HAYES, 1972, etc. para la romana *Terra Sigillata*). Creando corpus completos de consulta, siempre bajo un rigor científico, que a diferencia de los clásicos en papel, permitirían una manipulación virtual de la pieza y visualización completa de la misma por parte de aquel que lo consulta. A este respecto y como se ha podido documentar ya se ha comenzado a hacer algo en el caso por ejemplo de utillaje lítico prehistórico, desde el *The Weizmann Institute of Science*, Israel, donde a partir de conjuntos Achelenses digitalizados se están elaborando catálogos (<http://www.weizman.ac.il>).

- **Entornos Virtuales y Musealización, virtual o física** por medio de nuevos sistemas expositivos: que a través de la exposición de réplicas, imágenes digitales, y demás sistemas interactivos, audiovisuales o recreaciones virtuales, posibilitan una mayor comprensión de los objetos, mejorando, promoviendo y facilitando su puesta en valor y el acercamiento del visitante

4.4.2. Limitaciones y Posibles Soluciones

Apartado este que se centra especialmente en exponer los casos concretos que se han encontrado durante el proceso de recopilación documental, y que a modo de resumen puede decirse que generalmente vienen dados por la geometría y/o tipo de material, reflectancia, color, etc., base del objeto, como puede contemplarse en la siguiente tabla (*Tabla_5*).

Tabla_5: Escáner Láser 3D: Limitaciones y posibles soluciones.		
Tipo	Limitaciones	Soluciones Propuestas
Superficies excesivamente homogéneas, sin marcas distintivas naturales	Problemas durante la alineación de las diferentes tomas durante la fase de procesado de registros	Uso de dianas, elementos auxiliares, marcas (siempre y cuando se tenga la certeza que su aplicación y posterior eliminación será totalmente inocua para el objeto), etc.
Índices de reflexión altos o bajos, (brillantes, (metálicas, muy pulidas, barnizadas, etc.) o muy oscuros), o incluso materiales transparentes, (cristal, metacrilato, etc.)	Generación de gran cantidad de ruido, o al contrario de amplias zonas de vacío de informacio, en definitiva una densidad de puntos no homogenea	Estudio previo mucho mas detallado de los parámetros a determinar en la captura de datos/escaner que permitan salvar estas dificultades; También se propone la aplicación de aplicación de materiales que maticen y homogeneicen la superficie de la pieza, fácilmente removibles y totalmente inocuos para las piezas, así se ha documentado el uso de polvos mate, (por ej. polvo de talco)
Anteriores y aquellos con presencia de contrastes entre áreas claras/sombras: con gran cantidad de detalle, texturas rugosas, etc.	Precisan de un post-procesamiento de datos mucho más intensivo	
Aquellos cuya materia es ligeramente deformable, mucho más general en el caso de materiales orgánicos como cestería, vestimenta, etc., o poseen piezas móviles que oscilan ante la menor vibración	Al cambiarlo de posición, en el transcurso del proceso de toma de datos, la información registrada adquiere ligeras variaciones de una posición a otra, no generando modelos fieles a la realidad	Búsqueda de sistemas de montaje que mantengan el objeto suspendido y fijo sería una de las posibles soluciones

5. CONCLUSIONES

A continuación, y para cerrar el presente TFG, se procederá a indicar las resoluciones extraídas durante y a partir de su elaboración.

A nivel general podemos afirmar que los conocimientos adquiridos y resultados alcanzados han sido satisfactorios, así como que tras la ejecución del presente trabajo se ha logrado, favorablemente, efectuar un acercamiento a la tecnología de registro 3D del material arqueológico, y por extensión de cualquier tipo de material mueble sensible de ser intervenido por los profesionales de la C.-R. de BB.CC.

Para facilitar el desarrollo y comprensión del presente apartado, éste se ha estructurado en torno a cada uno de los objetivos propuestos de partida, exponiendo de manera sintetizada los logros y conclusiones que se han obtenido.

1. Proceso de documentación y estudio de nuevas herramientas de trabajo, (Escáner Láser 3D y posterior procesamiento de datos).

- Se ha logrado cumplir uno de los objetivos principales, compilar y presentar un amplio grueso de información al respecto (características tecnológicas del dispositivo a emplear, aplicaciones y limitaciones, cuestiones previas a tener en cuenta, metodología de trabajo a desarrollar, etc.).
- El registro de material arqueológico a través de la tecnología laser escáner 3D y su posterior procesado de 3D, precisa de unos ciertos conocimientos previos y un estudio minucioso de: objeto a documentar-fin deseado a través de su modelización-dispositivo a emplear. Aspectos estos que se ha logrado exponer con un alto grado de satisfacción.
- A partir de la puesta en práctica tanto de la parte más teórica de documentación y compilación de información, como de la parte más práctica de ejecución de un sólido 3D, se ha constatando la importancia de emprender ambos procesos de manera conjunta, pues sin un entendimiento y conocimiento profundo de la nueva herramienta a emplear, difícilmente será aplicada de manera responsable y aprovechando todo su potencial.

2. Estudio y exposición del desarrollo y aplicación de la tecnología Escáner Láser 3D, en el ámbito de la C.-R. de Materiales Arqueológicos

- Al respecto de este punto, los logros obtenidos han sido ampliamente satisfactorios al haber alcanzado a desarrollar una exposición bastante profunda y amplia de la materia a tratar, si bien no global por la ingente cantidad de experiencias realizadas hasta la actualidad.
- A través de los datos técnicos y prácticos expuestos, se ha logrado demostrar la utilidad de este tipo de tecnología a la hora de

emprender procesos de documentación y registro gráfico volumétrico de material arqueológico mueble, y por extensión de cualquier bien cultural sensible de ser intervenido. Concluyendo, como ya se ha reiterado numerosas veces, la importante potencialidad que esta herramienta puede brindar a nuestro ámbito de actuación, siempre desde la posición del uso responsable, como herramienta de apoyo en todas las fases que contempla el campo profesional del Conservador-Restaurador de BB.CC.

3. Aplicación práctica de la metodología de escaneado y procesado 3D

- A través de su ejecución se ha logrado tomar conciencia sobre algunas de las ventajas que este tipo de tecnología nos puede ofrecer, principalmente en cuanto a los procesos previos de documentación, así como lograr una positiva primera toma de contacto práctica con la metodología de trabajo a desarrollar, pudiéndose comprobar aspectos como tiempos de escaneado, parámetros a considerar según el objeto a registrar, fases del proceso, etc.
- Conclusiones más concretas con respecto a dispositivo, procesamiento de datos y resultados físicos obtenidos, ya fueron expuestas en el apartado correspondiente al desarrollo de un ejercicio práctico de escaneado y procesado de datos 3D.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ALMAGRO, A.; ALMAGRO-VIDAL, A. Traditional drawings versus new representation techniques. En: *Anticipating the future of the cultural past. 21st CIPA International Symposium Anticipating the future of the Cultural past*, Atenas, Grecia, 01-06 octubre 2007, p. 52-57. [consulta: 2014-05-15] Disponible en: <<http://hdl.handle.net/10261/19818> >
- AZCUNE, I. Modelizado en 3D de piezas arqueológicas: Virtualización a través de nubes de puntos. En: *Estudios de arqueología alavesa*. Vitoria-Gasteiz: Instituto alavés de Arqueología, 2011, num. 27, p. 619-670, ISSN: 1695-1611.
- ARZOLA, J. et al. Representación y reconstrucción de superficies usando análisis de regresión. En: *Aporte Santiaguino*. Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2010, vol. 3, num. 2, p.206-213, ISSN: 2070-836X. [consulta: 2014-05-15] Disponible en: <<http://www.scielo.org.pe/pdf/as/v3n2/a09v3n2.pdf>>
- BARCELÓ, J. A.; VICENTE, O. Qué hacer con un modelo arqueológico virtual. Aplicaciones de la inteligencia artificial en visualización científica. En: *VAR Virtual Archaeology Review*. Sevilla, 2011, vol. 2, num. 4, p. 53-57, ISSN: 1989-9947. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <http://www.varjournal.es/doc/varj02_004_12.pdf>
- BIANCHI R. *Introducción a la Arqueología*. Madrid: Akal, S.A., 2005. ISBN-10: 84-460-0124-1; ISBN-13: 978-84-460-0124-9
- BRUNO, F. et al. From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. En: *Journal of Cultural Heritage*. ELSEVIER, 2010, num. 11, p. 42-49, ISSN: 1296-2074. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207409000958>>
- CABALLERO, LUIS. El dibujo arqueológico. Notas sobre el registro gráfico en Arqueología. En: *Papeles del Partal*, revista de Restauración Monumental. España: Academia del Partal, 2006, num. 3, p. 75-95, ISSN: 1695-3029. [consulta: 2014-05-15] Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/13856/1/n3_7.pdf>
- CAROSIO, S. A.; AGUILAR, J. P.; BÁRCENA, R. Reconstrucción 3D y cálculo volumétrico de recipientes cerámicos. Alcances y limitaciones para el estudio y conservación cerámica de la Tambería de Gaundacol (Provincia de La Rioja). En: *La Zaranda de Ideas: Revista de jóvenes investigadores en Arqueología*. Argentina: Sociedad Argentina de Antropología, 2013, vol. 9, ISSN: 1853-1296. [consulta: 2014-01-11] Disponible en: <<http://lazaranda.org.ar/wp/wp-content/uploads/2014/02/6-Carosio-et-al..pdf>>
- CARRASCOSA, B. *La Conservación y Restauración de Objetos Cerámicos Arqueológicos*. Madrid: Tecnos, 2009. ISBN: 9788430949397

- CRIADO, F. El futuro de la arqueología, ¿la arqueología del futuro. En: *Trabajos de Prehistoria*. España: CSIC, 1996, vol. 53, num. 1, p.15-35. eISSN: 1988-3218. [consulta: 2013-12-27] Disponible en: <<http://tp.revistas.csic.es/index.php/tp/article/view/403/411>>
- ESCRIVA, F.; MADRID, J. A. El mundo virtual en la restauración. Aplicaciones virtuales para la conservación y restauración del patrimonio. En: *ARCHÉ*. Valencia: Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV, 2010, nums. 4 y 5, p. 11-20, ISSN: 1887-3960. [consulta: 23-11-11] Disponible en: <http://irp.webs.upv.es/documents/arche_article_122.pdf>
- ESQUIVEL, J. A.; ESQUIVEL, F. J.; ALEMÁN, I. Geometrical 3D lasser scanner model of a Chalcolitih vessel (Gor, Granada, Spain). En: *Archeologia e Calcolatoria*. Florencia: All'Insegna del Ciglio, 2007, num. 18, p. 293-241, ISSN 1120-6861. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF18/11_Esquivel.pdf>
- ESQUIVEL, J. A.; ESQUIVEL, F. J.; ALEMÁN, I. Análisis estadístico de los parámetros morfométricos de un vaso carenado utilizando un láser escáner 3D. En: *CPAG, Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de Granada*. Granada: EUG, 2008, num. 18, p. 357-370, ISSN: 0211-3228. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <<http://revistaseug.ugr.es/index.php/cpag/article/view/750>>
- FARJAS, M.; MORENO, E.; GARCÍA, F. J. La realidad virtual y el análisis científico: De la nube de puntos al documento analítico. En: *VAR Virtual Archaeology Review*. Sevilla, 2011, vol. 2, num. 4, p. 139-144, ISSN: 1989-9947. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <http://varjournal.es/doc/varj02_004_15.pdf>
- FARO. *Tecnología de escaneado láser 3D: nuevas posibilidades para ingeniería civil, arquitectura y patrimonio*. España: Faro S.L., 2010. [consulta: 27-12-2013] Disponible en: <file:///C:/Users/Yo/Downloads/PA_Architecture-LaserScanning_ES.pdf>
- FILIPPAS, D.; GEORGOPOULOS, A. Development of an algorithmic procedure for the detection of conjugate fragments. En: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Ed: Copernicus GmbH, 2013, vol. II-e/W1, p. 127-132. eISSN: 2194-9050. [consulta: 2014-04-07] Disponible en: <<http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W1/127/2013/isprsannals-II-5-W1-127-2013.pdf>>
- GRANERO, L. et al. Tecnologías ópticas aplicadas al Arte y a la documentación del Patrimonio. En: *Documentación gráfica del patrimonio. Actas de las Jornadas organizadas por el Instituto del Patrimonio Cultural de España*, Madrid, 15, 16 y 17 noviembre 2010, p. 18-25. Madrid: Ministerio de Cultura, 2011. NIPO: 551-11-006-4. [consulta: 2014-01-

- 26] Disponible en:
<<http://www.calameo.com/books/0000753358b142b1c934c>>
- GRANERO, L. et al. Desarrollo de proyectos orientados al Arte y la Restauración del Patrimonio: ejemplo del proyecto HIPERSCAN 3D. En: *VAR Virtual Archaeology Review*. Sevilla, 2012, vol. 3, num. 7, p. 18-22, ISSN: 1989-9947. [consulta: 2013-11-11] Disponible en:
<http://varjournal.es/doc/varj03_007_03.pdf>
- IRUJO-RUIZ, D.J.; PRIETO-MARTÍNEZ, M.P. Aplicaciones del 3D en cerámica prehistórica de contextos arqueológicos gallegos: Un estudio sobre la percepción visual. En: *ArqueoWeb. Revista sobre Arqueología en Internet*. Madrid: UCM, 2005, vol. 7, num. 2, p. 1-26, ISSN: 1139-9201. [consulta: 2013-11-11] Disponible en:
<<http://hdl.handle.net/10261/14905>>
- KAMPEL, M.; SABLATNIG, R. 3D Puzzling of archaeological fragments. En: *Computer Vision-CVWW'04. Proceeding of the 9th Computer Vision Winter Woorkshop*, Piran, Slovenia, 04-06 febrero 2004, p. 31-40. Slovenia: Ljubljana Slovenian Pattern Recognition Society 2004. [consulta: 2014-04-07] Disponible en:
<<http://caa.tuwien.ac.at/cvl/people/sab/papers/cvww04.pdf>>
- KAMPEL, M.; SABLATNIG, R. Detection of matching fragments of pottery. En: *Nicolucci, F. and S. Hermon (eds.), Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past. Proceedings of CAA2004*, Prato 13-17 abril 2004, p. 419-422. Budapest: Archaeolingua, 2010. [consulta: 2014-04-07] Disponible en:
<http://www.researchgate.net/publication/228712449_Detection_of_matching_fragments_of_pottery>
- KARASKI, A.; SMILANSKY, U. 3D Scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory. En: *Journal of Archaeological Science*. Elsevier, 2008, vol. 35, num. 5, 2008, p. 1148-1168, ISSN: 0305-4403. [2013-11-11] Disponible en:
<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=F0A3A5F1D75EDD9662D50081DC458F38?doi=10.1.1.134.5337&rep=rep1&type=pdf>>
- LAMOLDA, F.; CANO, P. Registro mediante la utilización de escáner láser 3D del estado previo a la intervención de la Fuente de los Leones. En: *VAR Virtual Archaeology Review*. Sevilla, 2010, vol. 1, num. 2, p. 89-94, ISSN: 1989-9947. [consulta: 2014-07-11] Disponible en:
<http://varjournal.es/doc/varj01_002_29.pdf>
- LERMA, J. L. et al. La documentación patrimonial mediante sensores de imagen o de barrido láser. En: *Documentación gráfica del Patrimonio. Actas de las Jornadas organizadas por el Instituto del Patrimonio Cultural de España*, Madrid, 15, 16 y 17 noviembre 2010, p. 108-117. Madrid: Ministerio de Cultura, 2011. NIPO: 551-11-006-4. [consulta: 2014-01-

- 26] Disponible en:
<<http://www.calameo.com/books/0000753358b142b1c934c>>
- LÓPEZ, F. J. Dibujos de ayer y hoy, modelos 3D de hoy y mañana. Modelización de materiales prehistóricos. En: *Actas de las Quintas Jornadas de Patrimonio Arqueológico en la Comunidad de Madrid*, 12-14 noviembre 2007, p. 333-337. Madrid: Comunidad de Madrid, 2011, ISBN: 978-84-451-3395-8. [consulta: 2013-10-29] Disponible en:
<https://www.academia.edu/1388009/Poster_Dibujos_de_ayer_y_hoy_y_modelos_3D_de_hoy_y_manana._Modelizacion_de_materiales_pre_historicos>
- LONDON CHARTER 2.1. *The London Charter for the Computer-Based Visualization of Cultural Heritage*, 7 february 2009. [consulta: 2014-07-03] Disponible en:
<http://www.londoncharter.org/docs/london_charter_2_1_en.pdf>
- LÓPEZ, I. et al. Uso de escáner láser 3D en la reproducción de restos óseos: Una evaluación desde la Zooarqueología, Paleontología y la Conservación-Restauración. En: *Conserva*. Santiago de Chile: CNCR, Chile, 2013, num. 18, pp. 59-70, ISSN: 0717-3539 (versión impresa); 0719-3858 (versión electrónica)
- MADRID, J. A.; TEJERINA, D. The importance of visualization: The use of a combined 3D scanner and x-ray analysis for cultural heritage documentation. En: *ARCHÉ*. Valencia: Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV, 2010, nums. 4 y 5, p. 21-24, ISSN: 1887-3960. [consulta: 23-11-11] Disponible en:
<<http://hdl.handle.net/10251/30160>>
- MELERO, F. J.; LEÓN, A.; TORRES, J. C. Digitalización y reconstrucción de elementos cerámicos de torno. En: *ARCHÉ*. Valencia: Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV, 2010, vol. 1, num. 2, p. 137-141, ISSN: 1887-3960. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <http://varjournal.es/doc/varj01_002_11.pdf>
- MESA, E.; RAMÍREZ, J. F.; BRANCH, J. W. Construcción de un modelo digital 3D de piezas Precolombinas utilizando escaneo láser. En: *Revista Avances en Sistemas e Informática*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2010, vol. 7, num. 1, p. 119-128, ISSN: 1657-7663. [consulta: 2014-01-15] Disponible en:
<<http://www.bdigital.unal.edu.co/23619/1/20611-69647-1-PB.pdf>>
- MIJANGOS, S.; ORTEGA, A. Ejemplo de aplicación de escaneado VAC 3D: Virtual analysis for Conservation. En: *Pátina*. Madrid: Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, 2006, época II, nums. 13-14, p. 47-56, ISSN: 1133-2972. [consulta: 2013-13-12] Disponible en: <<http://www.esrbc.es/patina/13-14/047a056.pdf>>
- MOZAS, A. et al. Estudio geométrico de piezas arqueológicas a partir de un modelo virtual 3D. En: *VAR Virtual Archaeology Review*. Sevilla, 2011,

- vol. 2, num. 3, p. 109-114, ISSN: 1989-9947. [consulta: 2013-11-11]
 Disponible en: <http://www.varjournal.es/doc/varj02_003_02.pdf>
- PANTOJA, A. *Obtención del modelo tridimensional de una pieza de terracota mediante tecnología laser escáner 3D* [proyecto fin de carrera]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2014. [consulta: 2014-03-22]
 Disponible en: <http://oa.upm.es/26853/1/PFC_ANA_PANTOJA_LORENZO.pdf>
- PAVLIDIS, G. et al. Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. En: *Journal of Cultural Heritage*. ELSEVIER, 2007, num. 8, p. 93-98, ISSN: 1296-2074. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S129620740600121X>>
- PIERACCINI, M.; GUIDI, G.; ATZENI, C. 3D digitizing of Cultural Heritage. En: *Journal of Cultural Heritage*. ELSEVIER, 2001, num. 2, p. 63-70, ISSN: 1296-2074. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207401011086>>
- PORCEL, C. Métodos digitales aplicados a la documentación arqueológica: una aproximación básica. En: *Caracteres. Estudios culturales y críticos de la esfera digital*. Salamanca: Delirio, 2013, vol.2, num. 1, p. 189-195, ISSN: 2254-4496. [consulta: 2013-12-27] Disponible en: <<file:///C:/Users/Yo/Downloads/Dialnet-MetodosDigitalesAplicadosALaDocumentacionArqueolog-4515573.pdf>>
- RASCÓN, S.; SÁNCHEZ, A. L. Las nuevas tecnologías aplicadas a la didáctica del patrimonio. En: *Pulso*. Madrid: Centro Universitario Cardenal Cisneros, 2008, vol. 31, p. 67-92, ISSN: 1577-0338. [consulta: 2014-05-11]
 Disponible en: <<http://dspace.uah.es/dspace/handle/10017/5178>>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. *Diccionario de la Lengua Española (DRAE)*, 22ª Edición, 2011.
- RENFREW, C.; BAHN, P. *Arqueología. Teorías, métodos y práctica*. Madrid: Akal S.L. 1993. ISBN: 84-460-0234-5. Depósito legal: M-17.488-1993
- ROSENDE, S.; ANDRÉS, J. C. Clonar el Patrimonio Histórico. Creación de una réplica. Aplicación de nuevas tecnologías en conservación. En: *Pátina*. Madrid: Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, 2006, época II, num. 12, p. 23-28, ISSN: 1133-2972. [consulta: 2013-13-12] Disponible en: <<http://www.escribc.es/patina/12/replicas.pdf>>
- RUBIO, D. et al. Nuevos métodos para viejas tecnologías: Análisis y documentación de los materiales arqueológicos mediante la aplicación de sistemas Laser-Scanner 3D. En: *VAR Virtual Archaeology Review*. Sevilla, 2010, vol. 1, num. 1, p. 169-173, ISSN: 1989-9947. [consulta: 2013-10-27] Disponible en: <http://varjournal.es/doc/varj01_001_05.pdf>

- SOLERA, A. A. *Obtención del modelo tridimensional de una vasija precolombina de la cultura Nazca-Perú mediante sistemas láser escáner 3D* [proyecto fin de carrera]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2012. [consulta: 2013-10-25] Disponible en: <http://www.geo.upm.es/userfiles/file/LecturaPFC/Memoria_PFC_200.pdf>
- SOPENA, M.C. La investigación arqueológica a partir del dibujo informatizado de cerámica. En: *Saldvie*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza: Departamento de Ciencias de la Antigüedad, 2006, num. 6, p, 13-27, ISSN: 1576-6454. [consulta: 2013-11-23] Disponible en: <[file:///C:/Users/Yo/Downloads/Dialnet-LaInvestigacionArqueologicaAPartirDelDibujoinforma-2555117%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Yo/Downloads/Dialnet-LaInvestigacionArqueologicaAPartirDelDibujoinforma-2555117%20(1).pdf)>
- TEJADO, J. M. Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico. En: *Iberia. Revista de la Antigüedad*. La Rioja: Universidad de La Rioja, 2005, num. 8, p.135-158, ISSN: 1575-0221. [consulta: 2013-10-29] Disponible en: <[file:///C:/Users/Yo/Downloads/Dialnet-EscaneadoEn3DYPrototipadoDePiezasArqueologicas-2526197%20\(8\).pdf](file:///C:/Users/Yo/Downloads/Dialnet-EscaneadoEn3DYPrototipadoDePiezasArqueologicas-2526197%20(8).pdf)>
- TORRES, M. A. *El diseño al servicio de la ciencia: El dibujo y la ilustración científica en Argentina* [proyecto exploración de la agenda profesional]. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Palermo. [Consulta: 2014-05-15] Disponible en: <http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/proyectorgraduacion/archivos/2564_pg.pdf>
- TORRES, J.C. et al. Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio. En: *VAR Virtual Archaeology Review*. Sevilla, 2010, vol. 1, num. 1, p. 51-54, ISSN: 1989-9947. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <http://varjournal.es/doc/varj01_001_14.pdf>
- TUCCI, G.; CINI, D.; NOBILE, A. A defined process to digitally reproduce in 3D a wide set of archaeological artifacts for virtual investigation and display. En: *Journal of Earth Science and Engineering*. USA: David Publishing Company, 2012, vol. 2, p. 118-131, ISSN:2159-581X. [consulta: 2013-11-11] Disponible en: <<http://www.davidpublishing.com/davidpublishing/upfile/3/29/2012/2012032985861889.pdf>>
- VALLE, J. M. La medida y representación del Patrimonio: Alternativas y criterios de selección. En: *Berceo*. Logroño: Instituto de Estudios Riojanos, 2006, num. 151, p. 63-85, ISSN: 0210-8550. [consulta: 2014-03-16] Disponible en: <dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2667951.pdf>
- VALLE, M. *Documentación geométrica del patrimonio: Propuesta conceptual y metodológica*. [Tesis doctoral]. La Rioja: Universidad de La Rioja, 2007.

[consulta: 2014-01-26]. Disponible en: <
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=18561>>

VV.AA. *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to users on laser scanning in Archaeology and Architecture*. UK: English Heritage, 2ª ed. 2011, p. 11. [consulta: 2014-04-15] Disponible en: <http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-heritage2/3D_Laser_Scanning_final_low-res.pdf>

WEBS:

<http://cientificos.pe/reconstruyendo-el-pasado-la-computacion-y-la-herencia-cultural/> Septiembre 2014, [consulta: 2013-10-30] [sin fecha de modificación]

<http://es.wikipedia.org/wiki/Arqueolog%C3%ADa>, [consulta: 2014-08-28] [última fecha modificación: 2014-08-26]

<http://silenteearth.org/let-let-sleep/>, [consulta: 2014-08-11] [sin fecha de modificación]

<http://www.3dimpresoras3d.com/que-es-un-escaner-3d/>, [consulta: 2013-10-30] [sin fecha de modificación]

<http://www.ai2.upv.es/val/mostrarproyecto.php?id=607>, [consulta: 2013-10-30] [sin fecha de modificación]

<http://www.arqueologiavirtual.com>, [consulta: 2014-05-09] [sin fecha de modificación]

<http://www.cronica.com.mx/notas/2014/823391.html>, [consulta: 2014-02-20] [sin fecha de modificación]

http://www.esicomos.org/Nueva_carpeta/info_cartaENAMEsp.htm, [consulta: 2014-05-09] [sin fecha de modificación]

<http://www.factum-arte.com>, [consulta: 2014-05-09] [sin fecha de modificación]

http://www.sarsen.org/2013_03_01_archive.html, [consulta: 2014-08-11] [sin fecha de modificación]

http://www.unesco.org/culture/natlaws/media/pdf/guatemala/guatemala_carta_cracovia_2000_spa_orof.pdf, [consulta: 2014-05-09] [sin fecha de modificación]

<http://www.wikiart.org/en/giovanni-battista-piranesi/three-fragments-found-in-the-villa-adriana-in-tivoli-inc-f-piranesi> [consulta: 2014-08-09] [sin fecha de modificación]

www.konica-minolta.com, [consulta: 2013-10-19] [sin fecha de modificación]

7.ÍNDICE DE IMÁGENES Y TABLAS⁵⁴

<i>Imagen_ 1: Vista general del proceso de excavación del Yacimiento “Necrópolis de San Joaquim de la Menarella”, (Forcall, Castellón), 2006.</i>	8
<i>Imagen_ 2: Desarrollo estándar proceso de documentación del material arqueológico.</i>	11
<i>Imagen_ 3: Lámina de Colt Hoare Stonehenge, finales s.XVII-principios s.XIX.</i>	12
<i>Imagen_ 4: Lámina de William Stukelev, Vista de Stonehenge, 1740.</i>	12
<i>Imagen_ 5: Esquema Triangulación.</i>	16
<i>Imagen_ 6: Flujo de las fases de trabajo seguidas.</i>	21
<i>Imagen_ 7: Vista Anverso fragmento nº 33.</i>	22
<i>Imagen_ 8: Vista Reverso fragmento nº33.</i>	22
<i>Imagen_ 9: Proceso de escaneado de los fragmentos, laboratorio de IRP.</i>	22
<i>Imagen_ 10: Vista inicial de un escaneado.</i>	23
<i>Imagen_ 11: Vista/Detalle en posición PUNTAS, (obsérvese la densa malla creada).</i>	23
<i>Imagen_ 12: Ventana opciones visualización/oculta, etc. de un archivo concreto.</i>	23
<i>Imagen_ 13: Detalle uso herramienta SELECCIONAR LÍMITES.</i>	24
<i>Imagen_ 14: Proceso ALINEACIÓN manual.</i>	24
<i>Imagen_ 15: Vista tras FUSIONADO.</i>	24
<i>Imagen_ 16: Ejemplo de digitalización de diferentes tipos de soporte: lítica y hueso.</i>	26
<i>Imagen_ 17: Modelado de una vasija precolombina.</i>	26
<i>Imagen_ 18: Réplica de broche anglosajón de bronce dorado.</i>	27
<i>Imagen_ 19: Diagrama de líneas a partir del modelado 3D (Mediciones/Cotas).</i>	28
<i>Imagen_ 20: Estudios geométricos.</i>	28
<i>Imagen_ 21: Proyecto que trabaja sobre la generación de mapas de daños.</i>	28
<i>Imagen_ 22: Simulación virtual de actuación sobre el modelo sustitución de orejas.</i>	29
<i>Imagen_ 23: Sección de fragmento cerámico a partir de su modelado 3D.</i>	29
<i>Imagen_ 24: Zonas modificadas durante el proceso de restauración mostradas en escala de color.</i>	30
<i>Imagen_ 25: Obtención de cálculos reales sobre áreas intervenidas.</i>	30
<i>Imagen_ 26: Emparejamiento de fragmentos.</i>	31
<i>Imagen_ 27: Dama de Elche, Original y Réplica.</i>	32
<i>Imagen_ 28: Réplica Tumba de Tutankamon (Factum Arte).</i>	32

TABLAS

<i>Tabla_ 1: Tabla 1 Material Arqueológico: relación evidencia-información.</i>	10
<i>Tabla_ 2: Características modelos de Escáneres 3D documentados.</i>	17
<i>Tabla_ 3: Recomendaciones uso: datos previos a considerar.</i>	18
<i>Tabla_ 4: Recomendaciones relación dimensión objeto-resolución.</i>	18
<i>Tabla_ 5: Escáner Láser 3D: Limitaciones y posibles soluciones.</i>	33

⁵⁴ Aquellas imágenes y Tablas no referenciadas bibliográficamente, (tanto en el texto principal como en los anexos): Autora: MARTÍNEZ CERDÁN, N.