

ESCANEO EN 3D Y PROTOTIPADO DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS: LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL REGISTRO, CONSERVACIÓN Y DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

Jose María Tejado Sebastián

Universidad de La Rioja

RESUMEN: En esta aportación vamos a comentar algunas cuestiones relativas al empleo de las Nuevas Tecnologías en el ámbito del registro, la conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico. En concreto, a través del análisis de un ejemplo, vamos a presentar algunas ventajas e inconvenientes del empleo de un escáner 3D (Konica Minolta Non-Contact 3D Digitizer VI-910) en pequeños objetos arqueológicos, así como la aplicación del prototipado rápido por medio de una impresora 3D (Objet EDEN 500V™).

Palabras clave: Patrimonio Arqueológico, nuevas tecnologías, láser escaner 3D, prototipado rápido, registro-conservación-divulgación.

ABSTRACT: In this contribution we discuss some questions relative to the use of New Technologies in the scope of the registry, preservation and spreading of Archaeological Heritage. In particular, through the analysis of an example, we display some advantages and disadvantages of using a 3D digitizer (Konica Minolta Non-Contact 3D Digitizer VI-910) in small archaeological objects, as well as the application of the 3-Dimensional Photopolymers Printing System by means of a 3D printer (Objet EDEN 500V™).

Keywords: Archaeological Heritage, new technologies, 3D laser digitizer, 3-Dimensional Photopolymers Printing System, registry-preservation-spreading.

SUMARIO: 1. Introducción, objetivos y cuestiones previas. 2. NN. TT. y Patrimonio Arqueológico; uso y abuso. 3. Procesos técnicos de escaneado e impresión en 3D. 3.1. Escaneado. 3.2. Impresión. 4. Resultados: contras y pros. 5. A modo de conclusiones. 6. Bibliografía. 7. Anexos.

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y CUESTIONES PREVIAS

El presente trabajo ha surgido como consecuencia del análisis de los materiales arqueológicos que estamos utilizando para el desarrollo de nuestra Tesis Doctoral. Éstos provienen de diferentes prospecciones y excavaciones en el territorio del Alto Iregua (La Rioja)¹.

1. Tesis Doctoral dirigida por D. Juan A. Santos Velasco, profesor titular de Prehistoria de la Universidad de La Rioja, y que versa sobre el Poblamiento y el Territorio en el Alto Iregua, en un arco cronológico tan amplio que abarca aspectos desde la Edad del Hierro hasta episodios de la Alta Edad Media. Dicho proyecto de Tesis ha sido financiado gracias a la concesión de una Beca FPI de la Comunidad Autónoma de La Rioja (C.A.R.), desde junio de 2001 hasta septiembre de 2004. Fundamental en estas investigaciones ha sido la ayuda, apoyo y comprensión de familiares, compañeros y amigos que sería prolijo enumerar aquí. Mi agradecimiento más sincero para todos ellos, y particularmente para las sugerencias y apreciaciones que he recibido a la hora de realizar este artículo de Juan A. Santos Velasco y José M. Valle Melón. Los errores que pudieran aparecer son de mi exclusiva responsabilidad.

Con motivo del estudio de los materiales provenientes de las campañas de excavación del yacimiento El Castillo de los Monjes (Lumbreras), se nos plantearon una serie de cuestiones en torno al registro y conservación del material arqueológico resultante².

El objetivo de este trabajo es comprobar cómo el empleo de algunas técnicas de las denominadas Nuevas Tecnologías (NN. TT.) afecta y de qué manera al registro del Patrimonio Arqueológico y a la vez, ya que todo está íntimamente imbricado, a su conservación y divulgación social.

Se recurrió a las técnicas de escaneado en 3D y prototipado rápido debido a que, primeramente, se acomodaban y servían para lograr las aspiraciones iniciales deseadas, a saber: A) Fiabilidad de los datos obtenidos con rigor metodológico cuyo resultado fuese un formato digital de alta potencialidad de difusión. B) Experimentación sobre nuevos soportes (en este caso poliméricos) que permitan la representación formal con un elevado grado de precisión (de unas pocas micras) y que simultáneamente puedan servir como copia física de fácil transmisión e intercambio³.

En segundo lugar, y no por ello menos importante, estaba nuestro condicionamiento económico limitado. Ello hizo que los deseos iniciales tuvieran que adecuarse a la realidad imperante. Aspecto este último relevante para el caso que nos ocupa ya que el empleo de estas dos tecnologías supone un desembolso pecuniario elevado, por lo que tuvimos que reducir su empleo y circunscribirlo a un único ejemplo.

La cuestión del registro de las piezas arqueológicas ha sido una constante desde el momento en que los arqueólogos (no anticuarios) comenzaron a exhumar estructuras y objetos de los yacimientos. La plasmación de la realidad arqueológica resultante de sus actividades, hizo que dichos arqueólogos y personas relacionadas con el Patrimonio Arqueológico se interrogasen sobre conceptos como medida, precisión y exactitud en relación con este patrimonio y su representación.

La importancia y desarrollo de estas nociones ha llegado a tal punto, que actualmente se tiende a considerar sin ningún tipo de subterfugio que la representación del Patrimonio va un paso más allá de la propia instrumentación técnica como simple medida del objeto. En la actualidad se concibe como fuente de conocimiento y soporte a los procesos de conservación, difusión y transmisión del Patrimonio⁴.

2. Peticiones de permisos cursadas a la Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la C.A.R., Área de Arqueología, tanto para prospectar el territorio mencionado y excavar algunos enclaves seleccionados, como para realizar estos trabajos que presentamos aquí. Gracias a su apoyo, incluido el económico, así como el de otras instituciones entre las que destacamos al Ayuntamiento de Lumbreras, Parque Natural Sierra de Cebollera e Instituto de Estudios Riojanos, hemos podido llevar a cabo dichas tareas.

3. Una mención especial en la realización de este trabajo es para mi amigo y técnico en Fluorescencia de Rayos X de la empresa FISCHER INSTRUMENTS, S.A. (España) <<http://www.helmut-fischer.com/>>, D. José Luis Sáenz-Díez, así como para D. Héctor Sancho, técnico especialista en digitalización 3D con el escáner VI-910 (Empresa Aquateknica S. A., Valencia <<http://www.aquateknica.com/>>) y posterior tratamiento informático de los datos obtenidos. Por último, gracias a la compañía Objet (España) <<http://www.2objet.com/>>, hemos podido realizar el prototipado de la pieza que presentamos en estas páginas. Sin la dedicación, consejos y apoyo de ellos, no podríamos mostrar estos resultados.

4. VALLE, J. M., (2006), 161. La lista de autores que podríamos citar aquí es extensa. No obstante, nos detenemos en las interesantes y actualizadas apreciaciones que hace este autor, previas a la defensa de su Tesis que versa precisamente sobre la documentación geométrica del patrimonio, dando un especial protagonismo al apartado arqueológico.

Para ratificar esto, no hay nada más que observar la gran cantidad de información que se puede obtener, por ejemplo, de los bellos grabados panorámicos de Roma realizados por el arquitecto Pinaresi en el siglo XVIII, u otro tipo de documentación geométrica como la cartografía (también de esa época) de Tomás López, o algunos planos de antiguas excavaciones.

La superación de esta concepción de la representación meramente procedimental, que queda fuera de toda duda para los ejemplos expuestos, pudiera resultar *no tangible* para los casos de realidad virtual y “recientes” modelados digitales en 3D. Sin embargo, autores como García Cuetos (2004) afirman que: “*Hecha con rigor metodológico y científico, la repristinación digital crea un patrimonio, yo diría que una Memoria, y en ello radica su mayor valor, que los autores [se refiere a J. A. Fernández Ruiz y M. González Garrido, 2002] no dudan, considero que acertadamente, en encuadrar dentro de lo que conocemos como patrimonio inmaterial*”⁵. Con la impresión por prototipado rápido, habría que volver a recalificarlo nuevamente como “patrimonio material”, en un proceso que podríamos denominar de ida y vuelta.

Por otro lado, hay que plasmar la vertiente de la demanda social que se genera en torno a una mayor y cada vez más completa información y formación sobre el Patrimonio Arqueológico. Los recursos dedicados a estos fines tanto temporales como económicos han ido en aumento, *grosso modo*. Este crecimiento, en cuanto a necesidades culturales se refiere, ha tenido una repercusión global, desde los profesionales dedicados a la investigación del Patrimonio y encargados de velar por su conservación, difusión y divulgación, hasta la sociedad en general⁶.

El canal “actual” que sirve de nexo de unión entre estos dos ámbitos (Ciencia y Sociedad) es el lenguaje de la imagen, con su gran *poder*⁷ de síntesis y transmisora de una mejor, más rápida y eficaz comprensión por parte del espectador del mensaje que se le presenta delante, de una manera gráfica, en ocasiones *casi* tangible (representaciones tridimensionales, modelos de realidad virtual, animaciones *flash* y lenguaje hipertextual (*html*) de gran impacto y difusión en la red...).

Para intentar cubrir estas necesidades que tanto la investigación como la sociedad genera, se ha recurrido al empleo de unos métodos, en este caso las archifamosas

5. Cit. en VALLE, J. M., *op. cit.*, 184.

6. Hace ya bastante tiempo, autores de renombre en el campo de la actuación sobre el Patrimonio Arqueológico han llamado la atención sobre una correcta gestión integral de los procesos de intervención sobre este tipo de patrimonio (QUEROL, M. A. y MARTÍNEZ DÍAZ B., 1996, BALLART, J., 1997 y 2004, BERMÚDEZ, A., *et al.*, 2004), que abarque desde el propio registro de campo, pasando por su conservación, hasta llegar de una manera didáctica a manos de “la sociedad”. Comprender esta dinámica es fundamental para, incluso desde una óptica en ocasiones “mercantilista” de la cultura, llevar a buen puerto la gestión y organización de dicho patrimonio (*vid.* PÉREZ JUEZ, A., 2006, CAMARERO, C. y GARRIDO, M^a J., 2004).

7. Como lo ha demostrado ZANKER, P., 1992, y los estudios de la arqueología de la imagen dedicados a la iconografía. No obstante, ponemos “actual” entre comillas porque ya desde el S. XIX se consideró a la imagen como transmisora de conceptos e ideas asociadas a formas de pensamiento tanto individuales como colectivas. Para un análisis realmente *actual*, es decir que propugna una nueva forma de “mirar” teniendo en cuenta el contexto de la obra, es recomendable leer el ensayo de CHORDA, F., 2004, ya que trata el aspecto de la imagen virtual y su metodología para el análisis artístico.

NN. TT., que puedan aportar elementos de validación para la transmisión del conocimiento requerido.

Estas tecnologías, a pesar de su adjetivo “nuevas”, llevan ya unos cuantos años utilizándose en el ámbito de la Arqueología a través de su uso en numerosas experiencias⁸.

Como reflexión a las palabras clave seleccionadas al inicio de estas páginas, hay que hacer notar que la última de ellas, aparece como registro-conservación-divulgación no de manera casual o por error tipográfico. Más bien todo lo contrario, de una manera consciente. El motivo se debe a la naturaleza indisoluble y compartida de los conceptos que entran en juego.

Parece obvio que si el Patrimonio Arqueológico no está registrado convenientemente (sea por el método que sea) nos faltarán elementos cruciales a la hora de abordar adecuadamente cual puede ser la actuación más satisfactoria sobre ese patrimonio desde diferentes ámbitos de intervención; investigación, conservación, legislación, restauración, divulgación... E incluso sería impensable plantearse futuros pasos que deben seguir al registro (inventariado, catalogación y documentación)⁹.

Presentar los tres conceptos unidos mediante guiones es una manera de hacer hincapié en la interrelación que existe entre ellos. Podríamos llegar a concluir que se trata de una plasmación de la necesidad de intervenir en el Patrimonio Arqueológico de una manera secuencial e integral a la vez. Intentaremos comprobar si el empleo de estas técnicas nos puede ayudar en estos tres puntos planteados y en qué modo.

2. NN. TT. Y PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO; USO Y ABUSO

Últimamente es habitual encontrarnos con publicaciones, ya sean artículos o monografías completas, que abogan indefectiblemente por la benevolencia innata del empleo de las nuevas herramientas tecnológicas en su relación con el Patrimonio en general y Arqueológico en particular, sin una consideración ontológica y epistemoló-

8. En una fecha tan temprana como 1997, RENFREW, C., publicó su libro sobre *Arqueología Virtual*, con abundantes ejemplos de importantes proyectos y restituciones virtuales de yacimientos. La lista sería inmensa pero por señalar algunos destacados, podemos mencionar el libro de BARCELÓ, J. A., *et al.*, del 2000. NICCOLUCCI, F., editó en Oxford, en 2002, el ciclo de Conferencias Europeas sobre Arqueología Virtual. Dos años más tarde, VERGNIEUX, R. y DELEVOIE, C., también editaron otras conferencias de carácter similar. En ese mismo año, 2004, ALEGRE, E., publicó en Córdoba “Realidad virtual y reconstrucción 3D: ¿Arqueología o Ciencia Ficción?”, una pregunta que consideramos pertinente desde el punto de vista epistemológico. Concretando en el empleo del escáner 3D en pequeños objetos, unos buenos resultados pueden verse en; PERIPIMENO, M. y SALVADORI, F., 2003. “Nuovi percorsi di documentazione archeologica per mezzo di uno scanner 3D”: *Atti del III Congresso Nazionale di Archeologia Medievale*. Finalmente, de lo más novedoso que nos podemos encontrar es el libro de EVANS, Th. L. y DALY, P., 2006. *Digital archaeology: bridging method and theory*, Londres, en el que se tratan aspectos tan diversos que van desde un breve recorrido historiográfico de la arqueología digital, hasta algunas de las últimas herramientas aplicadas.

9. Estas afirmaciones se derivan de exposiciones como las que manifiestan que el valor de los bienes patrimoniales se concibe por dos vertientes; su valor por sí mismo, así como por la información que lleva aparejada y asociada (tanto pasada, como la que podrá derivarse de actuaciones e investigaciones futuras). De esta manera, cuando se registra el patrimonio, se le “da carta de naturaleza”. Un paso posterior sería el de la documentación (que no es sinónimo de registro), en el que “documentarlo es mantener, administrar e incrementar la información existente sobre él”. BALLART, J. y TRESSERRAS, J., 2001, 136 y ss.

gica previa. En este caso no se trata de ensalzar gratuitamente su uso¹⁰, sino de presentar una serie de reflexiones que nos han surgido antes, durante y tras el empleo de alguna de ellas.

La primera cuestión que debemos abordar es sobre la propia naturaleza de estas NN. TT. Una cada vez más amplia diversificación de los objetivos de la investigación patrimonial, hace que se recurra del mismo modo a nuevas herramientas, tanto conceptuales como metodológicas, para solucionar estas nuevas inquietudes¹¹.

Es precisamente dentro de estos instrumentos metodológicos donde las NN. TT. pueden llegar a ser aportaciones verdaderamente interesantes para el desarrollo de las disciplinas patrimoniales. Estos recursos tecnológicos son un medio para llegar a cumplir nuestro objetivo (que no es otro que la confirmación o refutación de nuestras hipótesis, la conservación de un yacimiento o un hallazgo, la divulgación de unos resultados...) y no un fin como frecuentemente se conciben.

Para corroborar la contundente presencia de esta concepción finalista en la sociedad actual, podemos detenernos, sin ir más lejos, en las noticias diarias de nuestro entorno más próximo, en dónde no vemos sino aperturas e inauguraciones de centros dotados de estas novedosas tecnologías pero sin una planificación de trabajo adecuada. Se considera que el mero hecho de poseer esas tecnologías confiere al lugar un halo inherente de "conocimiento" e "información", dos términos muy de moda en nuestra sociedad.

Por otro lado, no debemos ir a la parte contraria dejándonos arrastrar por un espíritu *luddista* y pensar que estas NN. TT. son el problema en sí. La naturaleza de las mismas no es ni buena ni mala, sólo depende del uso que nosotros hagamos de ellas.

Así pues, cuando llega la hora de colocar estos recursos en los platillos de la balanza para calibrar ventajas y desventajas de su uso, a menudo recurrimos únicamente a ponderar los aspectos positivos, "olvidándonos" de los negativos.

En términos generales hablamos de lo beneficioso que resulta su uso en cuanto a ahorro de tiempo (inmediatez de la toma de datos y sobre todo en su intercambio) y de dinero (mínimos costes económicos en la generación de nuevas copias digitales). Esto en parte es cierto. Pero hasta que tenemos ese producto, es decir, la información digitalizada, el proceso puede que no sea tan eficaz como se pretende en cuanto a reducción de costes temporales y económicos.

Aunque cada vez son menos gravosas estas tecnologías, no podemos olvidar que suponen un gasto importante, muy elevado cuanto más novedosa sea la técnica a emplear. La importante tarea de mantenimiento y actualización de estas nuevas tecnologías, supone un desembolso significativo por su constancia, ya que el ritmo de su desarrollo es muy rápido.

Esto enlaza con la segunda ventaja propuesta, el ahorro de tiempo, pues precisamente esas tareas de actualización no sólo implican asignación de recursos econó-

10. Por el contrario, y como se podrá comprobar, ya hemos analizado y criticado su uso y abuso en relación al Patrimonio en otros trabajos; TEJADO, J. M^a, 2006.

11. Eso hace que, por ejemplo, ahora se investigue en ramas del Patrimonio como la difusión virtual (v. gr. GRANDE, F., *et al.*, 2002) o el *marketing* del Patrimonio (Vid. CAMARERO, C. y GARRIDO, M^a J., 2004), cuestiones impensables hace apenas unos pocos años.

nicos, sino también dedicación temporal para mantener en perfecto estado estas máquinas (*hardware*) y programas (*software*).

Por otro lado, afortunadamente es cada vez menos frecuente la pérdida de trabajos en curso debido a problemas intrínsecos de estas tecnologías como que se “cuelgue” el ordenador o se puedan perder trabajos almacenados en soportes como discos duros¹², etc., que hasta hace no mucho eran problemas muy serios que hacían perder gran cantidad de esfuerzo, tiempo y dinero.

Si a todo esto le unimos el empleo excesivo de nuestro tiempo en el manejo de estas tecnologías, bien por el necesario aprendizaje y familiarización con los nuevos entornos, bien por la mala gestión que hacemos de nuestro tiempo abusando de su utilización, todo ello hace que tengamos que relativizar las incontestables ventajas de su uso y disfrute *per se*. Reiteramos que la naturaleza de estas NN. TT. no es mala o buena, depende del uso que hagamos de ellas para que sea efectivamente una práctica adecuada o que nos haga perder gran cantidad de recursos, sobre todo temporales.

3. PROCESOS TÉCNICOS DE ESCANEADO E IMPRESIÓN EN 3D

Si anteriormente comentábamos que estos recursos tecnológicos deben servir como medio para llegar a un objetivo, hay que explicitar que en nuestro caso se centra en el empleo de estas técnicas con el fin de obtener el mejor registro posible (tanto digital como físico) de un ejemplo de Patrimonio Arqueológico para que posteriormente pueda difundirse de una manera lo más amena y divulgativa posible sin perder calidad geométrica por ello.

En ocasiones, y sobre todo en lo que a dibujo arqueológico se refiere, muchas de las representaciones que hacemos de pequeños objetos, sólo pueden ser plenamente comprendidas por técnicos especialistas (arqueólogos, topógrafos, delineantes...) o personas versadas en dibujo técnico o, al menos, con algunas nociones básicas. Esto se debe a que la representación sistematizada del dibujo arqueológico implica un código específico (como pueda ser la plasmación de las secciones), que no siempre es de fácil lectura para el público en general. Nuestra intención era la realización de una prueba de representación digital fidedigna, de fácil lectura y comprensión para el mayor número de personas.

Por otro lado, al plasmar un objeto de tres dimensiones en un soporte bidimensional como es el papel, se tiene que realizar una abstracción, que necesariamente pasa por una simplificación de la realidad geométrica del objeto. Por más secciones que podamos realizar sobre el papel a un objeto como la hebilla liriforme que vamos a presentar, la pérdida de información volumétrica es más notoria que si la hacemos directamente en un modelo 3D.

La precisión máxima del escáner láser empleado llega a las 8 micras (*vid.* ficha técnica, anexo 1), un grado de precisión muy superior al tradicional dibujo a mano, e incluso más elevado que el que pueden proporcionar trazadores (*plotters*) e impre-

12. Sobre todo desde el momento en que la posesión de potentes discos duros de gran capacidad y fiabilidad es una constante “asequible” para amplios sectores sociales que pueden utilizar estas tecnologías.

soras habituales. Por tanto, la calidad de la información iba a ser elevada con el empleo de un escáner 3D.

Además, el tipo de aparato empleado permite realizar fotografías en color para generar el modelo virtual con el color real de la pieza. De esta manera los matices en la variación de coloración se registran en su ubicación exacta. Esto puede ayudar a tener una comprensión más completa, desde profesionales como los restauradores del Patrimonio, hasta el público menos especializado. Con ello se consigue que la representación sea más realista, ya que con el empleo de esta realidad virtual podemos hacernos una idea más aproximada del aspecto exterior de la pieza. Es más fácilmente comprensible, más “visual”, que el tradicional dibujo en blanco y negro, en donde en ocasiones hay que colocar una leyenda que explique los colores que hay que imaginar, porque la impresión de una fotografía o dibujo a color en una publicación es excesivamente cara.

Todo ello redundará en una mayor accesibilidad e interactividad del objeto escaneado con el investigador o público que examina la pieza, puesto que además del comentado aumento de calidad del registro, con su digitalización se puede conseguir un mayor intercambio de la información, ya que su formato digital está ya preparado para ser colgado directamente en la red y poder consultarse simultáneamente en diferentes lugares¹³.

3.1. ESCANEADO

El proceso de escaneado de la pieza, como ya hemos dicho, lo llevó a cabo el técnico D. Héctor Sancho. En primer lugar se realizaron unas pruebas para ver cómo capturaría el escáner la superficie de la pieza, procurando observar cual era la orientación más idónea con el fin de evitar que quedasen zonas opacas o muertas, es decir, sin lectura¹⁴.

La pieza en cuestión (nº Inventario: CM03/200.501/1) se trata de una hebilla liri-forme, con una cronología aproximada entre la 2ª mitad del VII y principios del VIII d. n. e. Presenta un buen estado de conservación y aunque actualmente está en pro-

13. Para ahondar en las posibilidades reales que ofrece la digitalización del Patrimonio, recomendamos el reciente libro de MACDONALD, L. W., de 2006, *Digital Heritage*, especialmente el capítulo 6 para la cuestión del escaneado en 3D, o el trabajo ya mencionado de CARRERAS, C. y MUNILLA, G., 2005, desde el ámbito español. Así mismo, es aconsejable navegar por la página web <<http://www.patrimonio.red.es>>, dependiente del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y que se trata de un ambicioso proyecto de digitalización de Patrimonio Español.

14. La utilización de esta técnica de escáner y su aplicación al Patrimonio Arqueológico es de sobra conocida. De los primeros lugares en donde se empleó el registro mediante este modelo de láser escáner 3D fue precisamente en Altamira <<http://www.minolta-3d.com/applications/eng/altamira.html>> para posteriormente realizar una reproducción plástica en escala 1:1. Ejemplos reseñables son el interesante trabajo de EL-HAKIM, S. F., FRYER, J., PICARD, M. y WHITING, E., (2004), o el de BARNETT, T., CHALMERS, A., DÍAZ-ANDREU, M., ELLIS, G., LONGHURST, P., SHARPE, K. y TRINKS, I., (2005), ambos sobre el registro y documentación de petroglifos y arte rupestre. Desde la perspectiva del paisaje medieval italiano es interesante la consulta del reciente libro de CAMPANA, S. y FRANCOVICH, R., (2006). La Tesis Doctoral de JEFFREY, S., leída en la Universidad de Glasgow en 2003, se centra en el registro y documentación mediante realidad virtual, para la difusión de estelas escocesas de la Alta Edad Media. Está disponible en red.

Algunas páginas de Internet se centran únicamente en esta técnica de escáner en 3D, como por ejemplo la alemana <<http://scanning.fh-mainz.de>>. Incluso existen páginas que se especializan en Patrimonio, tal es el caso de ARCHAEOPTICS. *Recording the past for the future. Specialists in 3D laser scanning* <<http://www.archaeoptics.co.uk>>.

ceso de limpieza y restauración, en el momento de la toma de datos no estaba todavía sometida a tratamiento. Consta de hebilla, placa, pasador y aguja, si bien parte de esta última, de hierro, no se digitalizó para evitar problemas de conservación en el transporte y manipulación del fragmento. El resto, hebilla y placa son de bronce ternario¹⁵. La superficie de la placa está decorada con motivos geométricos y ornamentación vegetal.

Para conseguir unos resultados óptimos se colocó una pequeña pantalla blanca tras la hebilla para que la captura de información fuese lo más satisfactoria posible (Fig. 1). Posteriormente, con un torno giratorio conectado al ordenador, mediante giros de 90º se hicieron cuatro lecturas de la pieza hasta completar la vuelta completa y así obtener su imagen digital¹⁶.



Figura 1. Toma de datos con el escáner y tratamiento de los mismos.

15. Determinación de componentes realizada a través del método de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X (ED-XRF) en el Laboratorio de Arqueometalurgia del Museo Arqueológico Nacional. Gracias a la colaboración de D. Ignacio Montero y D. Salvador Rovira. CSIC. Departamento de Prehistoria. I. H. Grupo de Investigación en Arqueometalurgia. Sin su ayuda desinteresada no podríamos conocer la composición analítica de un gran número de piezas que estamos utilizando para el desarrollo de nuestra Tesis Doctoral.

16. Centrándonos en el registro de objetos arqueológicos de pequeño tamaño, son interesantes los trabajos (que versan fundamentalmente sobre cerámica y algo de metal) de; SALVADORI, F., 2003, "Three-Dimensional Scanning Techniques Applied to 3D Modeling of Pottery Finds", *Archäologie und Computer, Workshop 7*, Vienna 20-22 Novembre 2002, así como el de PERIPIMENO, M. y SALVADORI, F., 2003. "Nuovi percorsi di documentazione archeologica per mezzo di uno scanner 3d": *Atti del III Congresso Nazionale di Archeologia Medievale*, Salerno.

Cada lectura se hizo con el modo de máxima precisión de los dos que permite la máquina, es decir, con más de 300.000 puntos por lectura. Tras la sistematización de los datos obtenidos se obtuvo el modelo digital de la pieza. El programa utilizado para este procesamiento y tratamiento ha sido rapidform2006®, que resultó ser una potente y eficaz herramienta de grandes prestaciones para la generación del modelo virtual.

Una vez conseguido el mallado del objeto, se procedió a la captura de una fotografía de color verdadero por medio del escáner con el fin de incrustarla en el modelo generado y de esta manera tener una imagen más “real” de la pieza. La aplicación de texturas artificiales, tomadas del archivo de la biblioteca del programa, o incluso realizadas *ex profeso*, hubiera conferido un aspecto menos fidedigno al resultado final que la aplicación de su propia fotografía. Con ello se ha conseguido, por ejemplo, ubicar en el lugar exacto las variaciones y cambios de color, producidas por la diferente oxidación de los materiales; verdoso en la placa de bronce y más rojizo en la aguja y pasador de hierro de la hebilla (*cf.* Fig. 2).

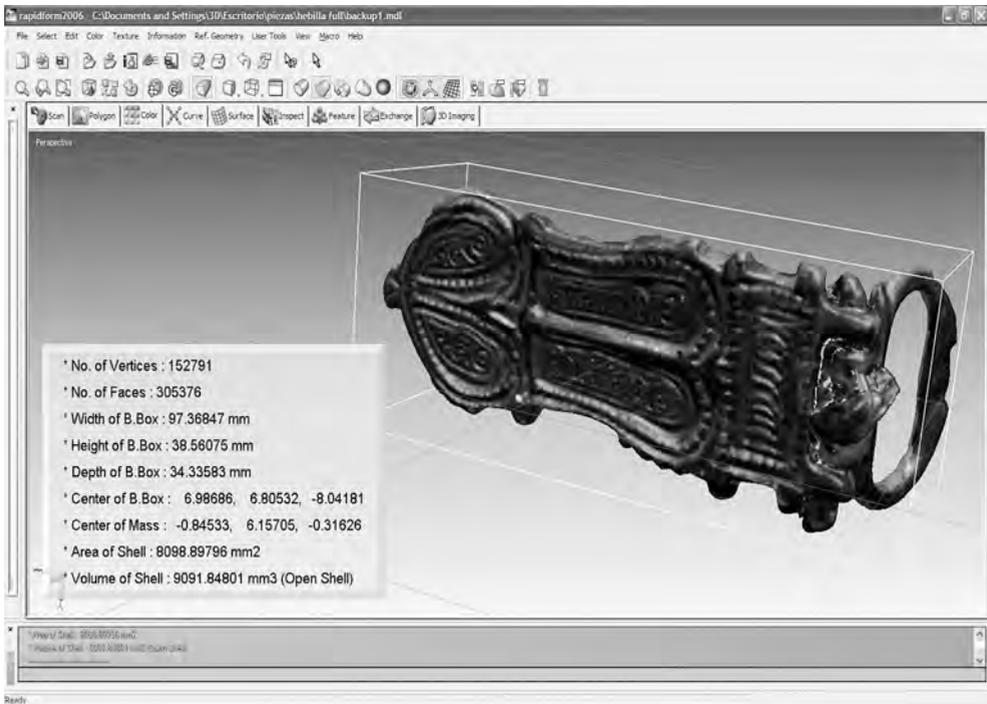


Figura 2. Captura de pantalla del proceso de tratamiento de datos.

3.2. IMPRESIÓN

Una vez que tuvimos registrada la pieza con los niveles de precisión referidos, nos enfrentamos a otro problema; su representación. Si únicamente utilizábamos ese modelo en su formato digital (para colgar en web, etc.), la dificultad no era tal. Ahora

bien, si queríamos representar físicamente esa precisión obtenida, se nos planteaba la cuestión de cómo ejecutarla.

Con el empleo de los métodos tradicionales en 2D como *plotters* e impresoras convencionales, el resultado sería una sustancial pérdida de definición, pues el hardware de estos periféricos no alcanza dichos umbrales de representación (unas pocas micras)¹⁷. Además está la cuestión ya comentada de la consabida simplificación geométrica al pasar de tres dimensiones a dos. Es por ello, que se nos brindó la oportunidad de utilizar la técnica del prototipado y comprobar como íbamos a maximizar el rendimiento de tener unos datos precisos con la menor pérdida geométrica posible, y todo ello en 3D.

La técnica del prototipado rápido no es nueva, como pudiera pensarse, aunque efectivamente evoluciona a un ritmo vertiginoso¹⁸. De los primeros modelos, con menor precisión y más costosos, se está llegando a niveles de precisión de hasta 16 micras por capa (como es el caso que nos ocupa) e incluso inferiores, y a precios "competitivos" dentro de lo gravoso que resulta el empleo de esta técnica.

Los materiales que se han empleado en el desarrollo histórico de la técnica han sido variados (papel, yeso, compuestos diversos...)¹⁹, si bien los que se han empleado aquí han sido los poliméricos. En este caso concreto, la propia composición de dichos fotopolímeros, con una formulación propia de la casa Objet (Polyjet™ Polymer), hace que sean fotosensibles a los rayos ultravioleta.

Con esto se consigue que con un modelo digital de la pieza (completamente cerrado para evitar interpretaciones erróneas del ordenador) la impresora aplique capas de 16 micras de espesor de dicho polímero y, una vez que se realiza una descarga de rayos ultravioleta, se quede instantáneamente endurecido para volver a proyectarse encima otra capa del modelo, así sucesivamente hasta acabar la pieza por completo.

17. El umbral de precisión de esta impresora en concreto es de 16 micras, mientras que el modelo digital pueda llegar a alcanzar las 8 micras. No obstante, la pérdida de definición es infinitamente menor que con otro tipo de impresoras tradicionales.

18. Ya en 1998, LANGDON, R., hace un estado de la cuestión para Gran Bretaña y constata como hay cerca de 80 variantes de este método de prototipado rápido. Para España, en 1999 LÁZARO, E. y DOMÍNGUEZ, M., realizaron un artículo donde se analizaban las posibilidades de esta técnica y su futuro más próximo. Actualmente, se pueden seguir las evoluciones de este método en artículos de la revista especializada *Rapid Prototyping Journal*, u otras como *Autocad magazine*, 2004, nº 93, 68-70, o la *Revista de Plásticos Modernos*, 2005, nº 588, 546-549. Un estado de la cuestión actualizado puede verse en: DIMITROV, D., SCHREVE, K. y BEER, N. de, 2006, "Advances in three dimensional printing state of the art and future perspectives", en la comentada *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 12, nº 3, centrándose especialmente en el campo médico y arquitectónico.

Una fuente básica es su consulta a través de Internet, donde las referencias a ésta técnica se amplían cada día, sobre todo desde el ámbito empresarial de la ingeniería que se dedica a ello.

19. Sobre investigaciones de nuevos materiales en técnicas de prototipado, *vid:* SONG, Y.-A y PARK, S., 2006. "Experimental investigations into rapid prototyping of composites by novel hybrid deposition process": *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 171, nº 1, 35-40, así como el trabajo de CHARTIER, T., CHAPUT, C., ABOULIATIM, Y. y DELAGE, C., 2006, "Rapid prototyping: fabrication of three-dimensional complex ceramic parts by stereolithography": *Ceramic Forum International*, Vol. 83, nº 5, 102-108.



Figura 3. Vista del prototipo dentro de su matriz.

Su escala es 1:1 y su tiempo de ejecución alrededor de unas tres horas. El tipo de polímero empleado ha sido el denominado *Veroblue Opaque material*, un polímero no flexible y cuya coloración, como su nombre indica, es azulado. El resultado final se presenta cubierto de una matriz plástica (Fig. 3), de textura y dureza muy similar a un tipo de silicona blanda y que hay que quitar para poder obtener el prototipo en sí que se encuentra en su interior.

El proceso de liberación de la pieza debe realizarse con una solución de agua junto a un 2% de sosa cáustica (NaOH) que, al aplicarla superficialmente durante una hora aproximadamente, hace que se disuelva el recubrimiento²⁰.

4. RESULTADOS: CONTRAS Y PROS

Los resultados son variados, ya se trate de la copia digital realizada con el escáner o con la impresión digital en 3D. Vayamos por partes.

El producto final del escaneado de la pieza se puede observar en la siguiente imagen:

20. Nuevamente tengo que dar las gracias, en esta ocasión a D. David Esteban, por proporcionarme la disolución mencionada.

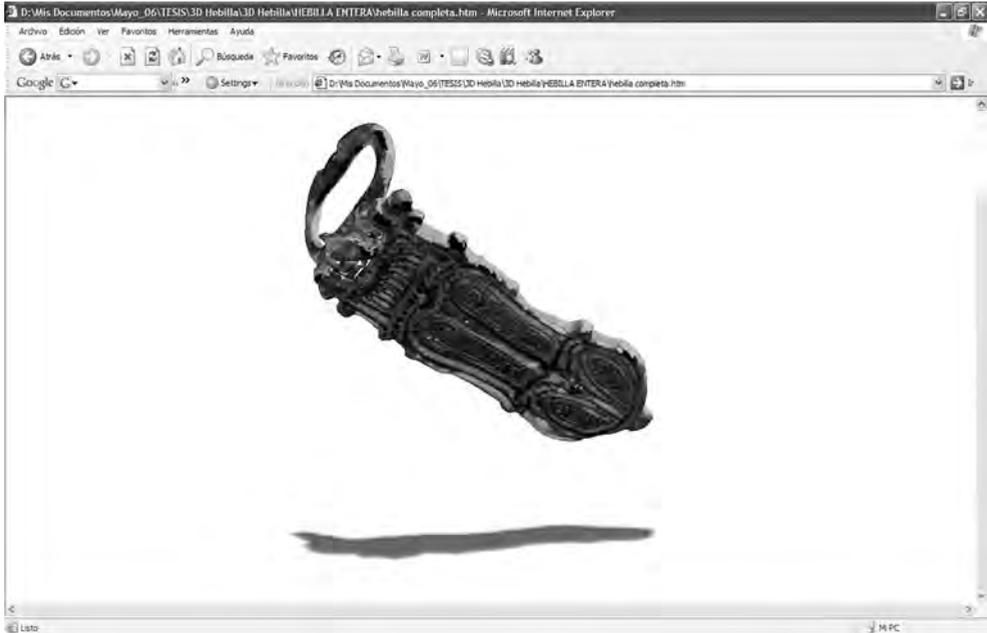


Figura 4. Vista del modelo virtual resultante²¹.

Lo más recomendable es su consulta en formato digital, ya que de esta manera se puede interactuar con el objeto²². El programa utilizado da la posibilidad de realizar un VRML “tradicional”, con lo que la cuestión de la representación digital ya estaría cerrada, o generar un enlace html a un modelo digital de la pieza que se guarda un servidor de Internet externo. Para llevar a cabo esto último se tienen que dar una serie de requisitos, a saber:

En primer lugar el enlace al archivo que se puede generar presenta un formato hipertextual (html) que debe ser abierto con el navegador *Internet Explorer*. No sirven otros alternativos como *Mozilla*, *Opera*, *Netscape*, *Safari*, etc., ya que el modelo no se abriría. Esto es un inconveniente de primer orden, ya que si bien aquel navegador se puede encontrar disponible en casi cualquier ordenador de una manera sencilla, no es menos cierto que existen, y cada vez con más peso y eficiencia, otros navegadores de Internet. Este punto supone una limitación en cuanto a la universalidad del formato de la información generada, cuestión sobre la que no vamos a entrar a deba-

21. Nótese la sombra proyectada por el modelo que confiere a la escena un mayor realismo si cabe al realzar de sensación volumétrica por medio de la iluminación virtual.

22. La manera de hacerlo es sencilla, el modelo se controla manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón y moviéndolo a la vez. Para acercarnos a la pieza si queremos observarla en detalle, tenemos que hacer la misma operación manteniendo pulsada la tecla Mayúsculas y avanzar con el ratón. La cuestión de colgar este modelo VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) para su acceso público y consulta a través de Internet, está pendiente de la realización de la página web del Área de Prehistoria de la UR, así como en la propia página del yacimiento de donde proviene la pieza, que está en proceso de profunda remodelación. Cuando ocurra alguna de las circunstancias citadas, se difundirá la dirección del enlace para la consulta del modelo virtual de la pieza.

tir aquí, pero que como es palmario y evidente supone un lastre. Una solución, como veremos más adelante podrían ser los formatos libres o los multiplataforma.

Actualmente, no todo el mundo tiene acceso a Internet, por más extraña que pueda parecer a alguien esta afirmación, ni siquiera dentro de nuestro “mundo desarrollado”²³. Este aspecto supone una limitación importante, ya que aunque Internet está cada vez más presente en la sociedad actual, todavía no es tan universal como se pretende para una difusión total. No obstante, para centros de investigación, universidades, museos, ministerio y consejerías de cultura, bibliotecas, etc. que podrían disponer sin problema de este recurso y que son potenciales receptores y a su vez difusores y amplificadores de este patrimonio, sí resultaría una herramienta útil.

Llegados a este punto cabe preguntarse sobre la existencia de los aspectos positivos de este método hipertextual empleado. Es pertinente el planteamiento, pero efectivamente existen.

El principal de ellos tiene estrecha relación con las dos cuestiones ya planteadas (su formato html y la necesidad de estar conectado a Internet). Se trata de su reducido tamaño. El enlace resultante del modelo tiene unas propiedades específicas que le hacen ocupar tan sólo 1 Kilobyte (KB). Muy apto para una amplia difusión a través de Internet (colgar en web, intercambio por correo-e... etc.). Su volumen es tan reducido debido a su formato y a la búsqueda que realiza en Internet de los elementos que necesita para su correcta representación²⁴.

Tras el análisis de los asuntos referentes al registro del Patrimonio Arqueológico, el segundo bloque de cuestiones sobre las que esta práctica efectuada aporta un elevado grado de potencialidades positivas se centra en su conservación.

La realización de copias digitales de objetos arqueológicos como medida cautelar de preservación, debería ser una constante hacia la que, paulatinamente, tendríamos que dirigir una parte importante de nuestros esfuerzos²⁵.

La actuación sobre el Patrimonio Arqueológico resultante tras el proceso de la extracción de los objetos recuperados de un yacimiento pasa por la consolidación y restauración de aquellos materiales que así lo demanden. En ocasiones, este objetivo no puede conseguirse por varios motivos que no vamos a indicar aquí, pero que algunos de ellos tienen que ver necesariamente con la escasez de recursos económicos disponibles para tal fin.

Esta circunstancia puede “amortiguarse” con la posibilidad de realizar copias digitales de los objetos muebles de una prospección, excavación arqueológica, colección... Con ello se conseguiría tener provisionalmente, al menos hasta la definitiva

23. Para consultar datos “actualizados” de conexiones a Internet por continentes, de Europa, España, Comunidades Autónomas, infraestructuras de fibra óptica, etc. para ponderar el peso real de estas tecnologías en sus dimensiones temporales y espaciales, *vid.* CARRERAS, C. y MUNILLA, G., 2005, 13-34.

24. Como es un *plugin* con extensión .icf que se descarga automáticamente. Así se denomina en inglés a un tipo de aplicación informática que interactúa con otra.

25. Esto no implica que necesariamente tenga que ser mediante el empleo únicamente de la técnica del escáner láser en 3D. Resultados magníficos se han obtenido con otras metodologías, como por ejemplo, con el empleo de tomografías computerizadas (T.A.C.) en el ámbito del registro humano fósil: *vid.* BRUNER, E y MANZI, G., 2006. “Digital tools for the Preservation of the human Fossil Heritage: Ceprano, Saccopastore, and other Case Studies”: *Human Evolution*, Vol 21, nº 1, 33-44.

consolidación y restauración de las piezas seleccionadas, un registro preciso y rápido de las piezas²⁶.

Esto sería una gran ventaja, ya que no es infrecuente constatar cómo parte del Patrimonio Arqueológico depositado en nuestros museos (almacenes y sótanos), laboratorios arqueológicos, depósitos... y debido a la falta presupuestaria, de control y organización de los fondos, de colapso generalizado por falta de espacio, etc., va perdiendo paulatinamente parte de sus propiedades físico-químicas, y con ello una gran cantidad de información, que en ocasiones puede ser irremediable por el deterioro irreversible al que se ve sometido la pieza. Con esta medida, al menos tendríamos salvaguardada la geometría de la pieza e incluso su apariencia por medio de la fotografía²⁷.

Esto puede llegar a ser una medida muy positiva si se entiende como algo complementario, nunca sustitutivo del objetivo último y definitivo, que no es otro que la conservación de la pieza física. Se anota esto aunque parezca obvio, ya que según el razonamiento imperante de máximo beneficio con mínimo coste podría pensarse, desde la óptica economicista, que el empleo de esta metodología es una buena y rentable inversión, puesto que se reducirían costes en el apartado de conservación y restauración patrimonial. Si al menos nos quedamos con la imagen digital del objeto, ciertamente mejor que no tener nada, pero eso no pasa por el olvido de la pieza original y centrarnos exclusivamente en la copia digital del mismo. Podemos llegar a hacer un flaco favor a la investigación y la conservación arqueológica al convertirlos en algo ficticio y virtual, perdiendo irremisiblemente el objeto original, que no olvidemos es la fuente histórica a la que tenemos que recurrir cada vez que queremos revisar u obtener nueva información.

Por otro lado, obtener la forma "real" de este tipo de patrimonio mediante el empleo de estas técnicas de registro, sin la necesidad imperiosa de tener que actuar directamente en los restos originales que se han conservado del pasado, hace que se contribuya a mantener sin alteraciones el Patrimonio Arqueológico existente²⁸. Esto supone un gran avance ya que como se puede comprobar en infinidad de ocasiones, un riesgo que incide enormemente en este legado patrimonial es precisamente la mala planificación y ejecución (por diferentes motivos) de algunos proyectos de restauración y rehabilitación²⁹.

26. En los últimos años se está observando una evolución en la orientación de la Arqueología Virtual, donde el peso que tienen recreaciones y restituciones virtuales deja también espacio para el registro y *clonación digital* del Patrimonio Arqueológico como método de salvaguarda. *Cfr.* ejemplos de la n. p. p. 8.

27. GÓMEZ CARRASCO, J. G., 2003. "La reconstrucción virtual como instrumento museográfico de la nueva arqueología": *Revista ArqueoMurcia: Revista electrónica de arqueología de la Región de Murcia*. nº. 1, 10-17, comenta un aspecto concreto de la utilización de nuevas tecnologías aplicadas a concepciones museísticas actuales. Para el caso del registro de elementos arquitectónicos y arqueológicos, *vid.* PERIPIMENO, M., 2005. "Sperimentazione di tecniche 3D laser scanning per l'analisi e la conservazione del patrimonio archeologico e storico-monumental. Definizione di procedure e campi di utilizzo" [en línea].

28. AQUILUÉ, X., BASES, T., CASTANYER, P., MONTURIOL, J., SANTOS, M. y TREMOLEDA, J., 2005. "El proyecto de restitución virtual de la ciudad griega y romana de Empuries": *Marq, arqueología y museos*, Vol. 0, 123.

29. Como pone de manifiesto ya en 1990, la Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico adoptada por el ICOMOS, Arts. 3, 6 y 7.

El siguiente paso dentro de este proceso secuencial integrado en la intervención sobre el Patrimonio Arqueológico sería la selección de piezas sobre las cuales se aplicaría una impresión de prototipado. Ello redundaría en primer término en aspectos positivos para la conservación de las piezas originales, ya que al poseer clones físicos, se podría disponer de éstos para diferentes actividades relacionadas con su investigación, divulgación en exposiciones, intercambios, préstamos y cesiones a otros museos y centros de investigación..., reservando la pieza original sólo para cuestiones muy específicas y concretas (análisis físico-químicos sobre ella, etc.³⁰).



Figura 5: Resultado final del prototipado.

Por último, aunque no por ello menos importante como ya hemos comentado reiteradamente, hay que detenerse en el aspecto de la divulgación del Patrimonio Arqueológico.

Como se ha podido comprobar los resultados de los dos modelos realizados, tanto del virtual fruto del escaneo en 3D, como del prototipado, tienen elevadas cotas de precisión que les confieren un gran realismo (*vid.* Figs. 4 y 5). Este realismo de los modelos los hace muy aptos para su difusión, bien sea a través de la red debido al formato digital del primero, bien físicamente por medio de la réplica del polímero.

30. ROVIRA, S., 2005. "Nuevas tecnologías aplicadas al estudio y conservación de bienes culturales: estado de la cuestión en los museos españoles": *Marq. arqueología y museos* Vol. 0, 39-46, plantea un estado actual de la cuestión, centrándose especialmente en metodología analítica físico-química.

Desde el ámbito de la investigación, en donde un tanto por ciento elevado de las consultas de materiales de otras investigaciones arqueológicas se refieren a aspectos morfológico-formales, esta herramienta resultaría útil desde el punto de vista de la agilización en el intercambio de información de alta calidad científica. De esta manera, el examen del clon digital o físico sería más rápido que la propia consulta del material original.

Si este aspecto se analiza para el campo de la investigación, elementos positivos se podrán argüir también para la divulgación del público en general. La fácil accesibilidad al resultado debe ser una máxima de primer orden y no sólo para el tradicional ámbito de especialistas o eruditos, sino que sea comprensible para todas las edades e independientemente de su grado de cultura o educación general. No podemos olvidar que es la sociedad quien nos encarga la tarea de estudiar y registrar ese Patrimonio y devolverle el conocimiento de una manera inteligible, no con un código cifrado o pseudo-criptado como es el lenguaje empleado en infinidad de ocasiones en el ámbito patrimonial (planos de difícil lectura, palabras enrevesadas o con estilo ampuloso...).

La inserción de modelos arqueológicos virtuales dentro de la Red, es por tanto una manera muy rápida de acceder a un sector de la población joven, inmersa en plena vorágine de las NN. TT. y a la que poder educar en cuestiones patrimoniales o reforzar y complementar actitudes de concienciación de la importancia de dicho patrimonio. Por otro lado, modelos interactivos, muy intuitivos y de fácil manejo a través de terminales situados en exposiciones temporales e itinerantes (o fijas en los museos), pueden hacer que otro tipo de población menos versada en innovaciones tecnológicas pueda acceder igualmente a ellas e incluso facilitar su familiarización con estos entornos.

No podemos olvidar que en la cuestión más social y divulgativa del Patrimonio Arqueológico, además de ser presentada de una forma atractiva, tiene que ser económicamente accesible para que se emplee y de esta manera pueda ser efectiva.

Esta tecnología, de momento es bastante cara. Pero estamos convencidos que de aquí a poco tiempo (con probabilidad antes de una década) habrá una gran reducción en los costes de producción y distribución de estos aparatos, que permitan utilizar "masivamente" esta tecnología. Sin jugar a ser futurólogos, es posible que en un tiempo no muy lejano muchas instituciones y organismos, dispondrán de aparatos como los empleados en este ejemplo (e incluso muchísimo más avanzados tecnológicamente) que generarán rutinariamente imágenes digitales muy precisas de objetos arqueológicos.

Esperamos que todo ello (reducción de costes económicos unido a mejoras sustanciales en el software empleado en el registro y tratamiento de los datos, así como las ventajas patrimoniales y sociales planteadas) haga que el empleo de estas técnicas sean, en un futuro no muy lejano (en un presente próximo), algo habitual en cualquier laboratorio de arqueología, taller de restauración de piezas arqueológicas, museo, etc.

5. A MODO DE CONCLUSIONES

Resumiendo y sintetizando lo dicho hasta aquí, hay que indicar que mediante el empleo de estas técnicas comentadas se consiguen modelos muy precisos y en un tiempo muy reducido. La toma de los datos es rápida y precisa, ya que en apenas tres

segundos se registran cientos de miles de puntos. El problema hasta hace poco era precisamente la gestión de esta ingente cantidad de información.

En la actualidad, utilizando programas avanzados del campo de la ingeniería mecánica de precisión, concretamente rapidform2006[®], este problema se reduce ostensiblemente ya que se gestiona de una manera más eficaz. La “única” pega reside en el aprendizaje para el correcto manejo y uso de este programa, así como en el precio de su licencia de varios miles de euros.

La cuestión de la elevada carga económica debida al uso de estas tecnologías, tanto en software como en hardware, suponemos que se reducirá ostensiblemente con el devenir de los años, pudiendo generalizarse el empleo de las mismas paulatinamente.

Por otra parte, la tridimensionalidad y el color del modelo virtual resultante, confieren un realismo naturalista muy apropiado para una fácil y universal comprensión de la pieza que se registra y exhibe.

Mencionamos este aspecto último de la exposición y divulgación de objetos arqueológicos porque tal y como hemos desarrollado en el trabajo, la difusión de los resultados es una cuestión que consideramos vital y que con el empleo de estas prácticas adquiere especial relevancia por sus elevadas potencialidades. Al generar un clon digital e incluso físico de la pieza en estudio, se gana por un lado en todo aquello que supone la conservación de la pieza original, así como en cuestiones de conocimiento y divulgación del Patrimonio Arqueológico.

En los últimos años el impacto de las NN. TT. ha sido muy fuerte en la forma de representar el Patrimonio Arqueológico. Se ha pasado del conocimiento “cerrado”, exclusivo, erudito y casi endogámico de la manera tradicional de representar y gestionar la divulgación del Patrimonio Arqueológico, a una forma completamente distinta.

Se abre una nueva posibilidad de registro, conservación y divulgación, con capacidad de analizar unos mismos materiales de una manera simultánea en cualquier lugar del mundo a través de la Red y con posibilidad de realizar diferentes tipos de consultas (desde profesionales a público en general). En donde el lenguaje universal de la imagen, con los matices de la forma, del color y aspecto, dimensiones... es decir la interacción con el modelo resultante, es la clave para una divulgación patrimonial en principio universal. Esto hace que el rol y juego del Patrimonio pueda ampliarse y alcance unas dimensiones mayores que el tradicional impacto local-regional. Su difusión puede llegar a ser supra local. No decimos que este impacto global sea beneficioso de una manera innata, sólo lo constatamos³¹.

Tampoco nos parece baladí la cuestión del mantenimiento de formatos digitales legibles y en perfecto estado de conservación de los archivos resultantes. Como se puede comprobar actualmente, la compatibilidad entre formatos es una cuestión que debe fomentarse hasta que sea una práctica universal, pues si no se puede caer en la contradicción de generar útiles modelos precisos pero con una muy limitada posibilidad de consulta, e incluso con una caducidad de la información todavía sin resolver.

31. Es más, ponemos en duda la benevolencia intrínseca de estos procesos globalizadores, sumándonos a las interesantes reflexiones que hace HERNANDO, A., 2006.

Es de sobra conocida la poca fiabilidad que ofrecen los soportes físicos (disquetes, cederrones, devedés...) en los que se almacena la información digital fruto de nuestro registro. Si a esto le añadimos el frenético desarrollo de estas NN. TT., podemos encontrarnos con la situación de no poder consultar información almacenada apenas hace unos pocos años por falta de periféricos adecuados con el necesario software, con lo que la situación puede llegar a ser preocupante. Es por ello que numerosas iniciativas tratan de solventar este tipo de contrariedades mediante la aplicación de lo que se han venido denominando formatos libres y multiplataforma, que permiten la lectura/consulta de archivos con independencia del sistema operativo que los generó o incluso el navegador utilizado (aspecto también clave en el caso que nos ocupa)³².

En este aspecto de la propia conservación de los resultados, un punto favorable se puede observar en el prototipado rápido como registro en soporte físico, complementario al "tradicional" formato digital. Sin embargo, hay que preguntarse por la duración de estos compuestos poliméricos conservados en condiciones óptimas a través del paso de los años en un medio-largo plazo; ¿Descomposición en superficie, acorchamiento u otros procesos negativos que pudieran dañar o alterar las propiedades morfológicas de estas réplicas?... No se puede olvidar que por el propio desarrollo de estos materiales, con una evolución tan vertiginosa y novedosa, no se han podido comprobar en ellos los efectos del paso del tiempo a medio-largo plazo.

Como colofón a estas reflexiones no podemos sustraernos de la cuestión de la "objetividad" de las representaciones obtenidas con estas tecnologías. No es infrecuente constatar cómo trabajos de este tipo abogan por dicha objetividad de la representación como un elemento positivo *per se*.

En realidad la naturaleza beneficiosa o perjudicial de la "objetividad" del modelo depende únicamente del acomodo y adaptación de nuestras demandas (geométricas, estéticas, historiográficas...) al resultado final.

Es por ello que llamamos la atención para que nadie piense que estamos abogando por el principio del fin del tradicional método de dibujo de piezas arqueológicas a lápiz y plumilla. Todo lo contrario.

Es innegable que con el "clásico" dibujo arqueológico se "pierde" cierta precisión geométrica de la pieza respecto a los modelos de registro aquí presentados. Pero no es menos cierto que aquél es un ejercicio que en ocasiones puede llegar incluso a disfrutar de cierto goce estético con incuestionables implicaciones históricas. Para gustos, los colores (nunca mejor dicho).

Precisamente la aportación personal y subjetiva de cada arqueólogo y dibujante puede llegar a ser un ejercicio más de contribución con, en ocasiones, enriquecedores aditivos desde el punto de vista historiográfico y humano (como hemos podido comprobar al inicio del trabajo con las referencias a los autores mencionados del

32. Ideas todas ellas recogidas y desarrolladas en VALLE, J. M. 2006, *op. cit.*, 186-187. Desde un punto de vista de unificación de plataformas y difusión del Patrimonio Arqueológico para especialistas y sociedad en general (así como el ámbito educativo en particular a través de herramientas didácticas), se puede observar en COSMAS, J., WAELKENS, M., DEGEEST, R. y GREEN, D., 2003. "A distributed universal 3D cyberworld for archaeologist research and education".

siglo XVIII), que el empleo de estas nuevas tecnologías difícilmente nos pueden proporcionar.

Es necesario asumir que es inútil e imposible el registro y la representación absoluta, así, tal cual, como algo objetivo (ver siguiente texto de Borges). Si llegásemos a realizar copias absolutamente exactas (forma, composición, etc.) de las piezas arqueológicas que registramos, llegarían a confundirse con ellas (falsos históricos) con lo cual este registro ya no sería útil. Además esto resultaría imposible porque toda representación es abstracción y, por tanto, parcial por definición. Con el empleo de estas técnicas el bien arqueológico pierde parte del carácter único y “sacrosanto” que le conferimos y que le hace ser especialmente apreciado y valorado. Esta reflexión, más allá de su calificación como una ventaja o una desventaja, habría que tratarla como una consecuencia en un excursu aparte.

“Del rigor en la ciencia”

“En aquel Imperio, el Arte de la Cartografía logró tal perfección que el mapa de una sola provincia ocupaba toda una ciudad, y el mapa del Imperio, toda una provincia. Con el tiempo, esos mapas desmesurados no satisficieron y los Colegios de Cartógrafos levantaron un mapa del Imperio, que tenía el tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él. Menos adictas al estudio de la Cartografía, las generaciones siguientes entendieron que ese dilatado mapa era inútil y no sin impiedad lo entregaron a las inclemencias del sol y de los inviernos. En los desiertos del Oeste perduran despedazadas ruinas del mapa, habitadas por animales y por mendigos; en todo el país no hay otra reliquia de las disciplinas geográficas”.

J.L. Borges

6. BIBLIOGRAFÍA

- ALEGRE, E., 2004. “Realidad virtual y reconstrucción 3D: ¿Arqueología o Ciencia Ficción?”: *Informática aplicada a la investigación y la gestión arqueológicas: Actas del I Encuentro Internacional, 5-7 de mayo, 2003, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Córdoba*, 419-422.
- ANÓNIMO, 2004. “Comparativa entre impresoras de prototipos en 3D”: *Autocad magazine* 93, 68-70.
- AQUILUÉ, X., BASES, T., CASTANYER, P., MONTURIOL, J., SANTOS, M. y TREMOLEDA, J., 2005. “El proyecto de restitución virtual de la ciudad griega y romana de Empuries”: *Marq, arqueología y museos* 0, 113-124.
- ARCHAEOPTICS. Recording the past for the future. Specialists in 3D laser scanning [en línea] <<http://www.archaeoptics.co.uk>> [Consulta 3 Diciembre 2006].
- BALLART, J., 1997. *El patrimonio histórico y arqueológico, valor y uso*, Barcelona.
- , 2004. “El patrimonio histórico: un recurso valioso y sensible para el futuro”: *Cursos sobre el patrimonio histórico. Actas de los cursos Monográficos sobre el Patrimonio Histórico* (Reinosa, Julio-Agosto 2003), 313-322.
- , y TRESSERRAS, J., 2001. *Gestión del Patrimonio cultural*, Barcelona.
- BARCELÓ, J. A., FORTE, M. y SANDERS, D. H., (eds.), 2000. “Virtual reality in Archaeology Computers Applications and Quantitative Methods in Archaeology”: *Actas*

- del Congreso: The twenty-sixth annual conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA98) took place between the 25th and 28th March 1998 at the Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, Oxford.*
- BARNETT, T., CHALMERS, A., DÍAZ-ANDREU, M., ELLIS, G., LONGHURST, P., SHARPE, K. y TRINKS, I., 2005. "3D laser scanning for recording and monitoring rock art erosion": *International newsletter on rock art* 41, 25-29.
- BERMÚDEZ, A., VIANEY, M., ARBELLOA, J. y GIRALT, A., 2004. *Intervención en el patrimonio cultural*, Madrid.
- BRUNER, E. y MANZI, G., 2006. "Digital tools for the Preservation of the human Fossil Heritage: Ceprano, Saccopastore, and other Case Studies": *Human Evolution* 21, 33-44.
- BORGES, J. L., 1960, "Del rigor en la Ciencia": *El hacedor*, Buenos Aires.
- CAMARERO, C. y GARRIDO, M^a J., 2004. *Marketing del patrimonio cultural*, Madrid.
- CAMPANA, S. y FRANCOVICH, R., 2006. *Laser scanner e GPS: paesaggi archeologici e tecnologie digitali*, Firenze.
- CARRERAS, C. y MUNILLA, G., con la colaboración de Cristina Barragán y Núria Ferran, 2005. *Patrimonio digital: un nuevo medio al servicio de las instituciones culturales*, Barcelona.
- COSMAS, J., WAELENS, M., DEGEEST, R. y GREEN, D., 2003. "A distributed universal 3D cyberworld for archaeologist research and education": *Cyberworlds 2003, Proceedings. 2003 International Conference*, Uxbridge (Reino Unido), 458-465.
- CHARTIER, T., CHAPUT, C., ABOULIATIM, Y. y DELAGE, C., 2006, "Rapid prototyping: fabrication of three-dimensional complex ceramic parts by stereolithography": *Ceramic Forum International* 83, n^o 5, 102-108.
- CHORDA, F., 2004. *De lo visible a lo virtual: una metodología del análisis artístico*. Prólogo a "Imagen y realidad virtual" de Mihai Nadin, Barcelona.
- DIMITROV, D., SCHREVE, K. y BEER, N. de, 2006, "Advances in three dimensional printing state of the art and future perspectives": *Rapid Prototyping Journal* 12, n^o 3.
- EL-HAKIM, S. F., FRYER, J., PICARD, M. y WHITING, E., 2004. "Digital recording of Aboriginal rock art": *10th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM)*, Ogaki, Japan, 17-19 Nov. 2004, 344-353.
- EVANS, Th. L. y DALY, P., 2006. *Digital archaeology: bridging method and theory*, London.
- FERNÁNDEZ CACHO, S., 2004. "Nuevas tecnologías en la gestión de la información de patrimonio arqueológico en Andalucía: Problemas detectados y Soluciones adoptadas": *Informática aplicada a la investigación y la gestión arqueológicas: Actas del I Encuentro Internacional*, 5-7 de Mayo de 2003, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Córdoba, 169-210.
- FERNÁNDEZ RUIZ, J. A. y GONZÁLEZ GARRIDO, M., 2002. "La representación gráfica del patrimonio desaparecido. El patio del Crucero del Alcázar de Sevilla": *IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. [en línea] <<http://www.ude.es/dep/rta/WebEGA/PDFs/Grupo4/FERN.pdf>> [Consulta 2 de Diciembre de 2006].
- GARCÍA CUETOS, M. P., 2004. "Suscita Virescit, o el viejo anhelo de la resurrección de la materia monumental": *Papeles del Partal, Revista de Restauración Monumental* 2, 45-82.

- GÓMEZ CARRASCO, J. G., 2003. "La reconstrucción virtual como instrumento museográfico de la nueva arqueología": *Revista ArqueoMurcia: Revista electrónica de arqueología de la Región de Murcia* 1, 10-17.
- GRANDE, F., et al., 2002. "Aplicación de las nuevas tecnologías en la divulgación del patrimonio": *Mérida. Ciudad y patrimonio: Revista de arqueología, arte y urbanismo* 6, 275-278.
- HERNANDO, A., 2006. "Arqueología y Globalización: el problema de la definición de el "otro" en la Post-modernidad": *Complutum* 17, 221-234.
- ICOMOS, 1990. *Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico*.
- JEFFREY, S., 2003. *Three Dimensional Modelling of Scottish Early Medieval Sculpted Stones*. Tesis Doctoral. Universidad de Glasgow. [en línea] <<http://ads.ahds.ac.uk-3demss.pdf>> [Consulta 5 de Enero de 2007].
- LANGDON, R., 1998. "Rapid prototyping", *Automot Eng* (London) 23, nº 5, 42-43, 45-46, 51-52.
- LÁZARO, E. y DOMÍNGUEZ, M., 1999. "Estado actual del prototipado rápido y futuro de éste": *Actas del XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Sin perder la perspectiva, hacia la representación virtual*, celebrado en Logroño-Pamplona, 2-3 y 4 de Junio, vol. 3., 1242-1255.
- MACDONALD, L. W., (ed.) 2006. *Digital Heritage: Applying Digital Imaging to Cultural Heritage*, Amsterdam-Boston.
- NICCOLUCCI, F., (ed.) 2002. "Virtual archaeology: proceedings of the VAST Euroconference": *Ciclo de Conferencias. Arezzo 24-25 de Noviembre de 2000. Coordinada por la European Commission, Research DG, Human Potential Programme, High-Level Scientific Conferences*, Oxford (BAR international series, 1075).
- PÉREZ-JUEZ, A., 2006. *Gestión del Patrimonio Arqueológico*, Barcelona.
- PERIPIMENO, M., 2005: "Sperimentazione di tecniche 3D laser scanning per l'analisi e la conservazione del patrimonio archeologico e storico-monumental. Definizione di procedure e campi di utilizzo": *Atti del Convegno Nazionale Sifet - Integrazione tra le tecniche innovative del rilievo del territorio e dei beni culturali*, 29-31 giugno 2005. [en línea] <<http://archeologiamedievale.unisi.it/NewPages/MIRANDUOLO/peripimeno.pdf>> [Consulta 2 de Enero de 2007].
- , y SALVADORI, F., 2003. "Nuovi percorsi di documentazione archeologica per mezzo di uno scanner 3d": *Atti del III Congresso Nazionale di Archeologia Medievale*, Salerno. [en línea]. <<http://archeologiamedievale.unisi.it/NewPages/LABORATORIO/laboratorio18.html>> [Consulta 3 de Enero de 2007].
- PATRIMONIO DIGITAL (España) [en línea]. <<http://www.patrimonio.red.es>> [Consulta 5 de Diciembre de 2006].
- QUEROL, M^a A. y MARTÍNEZ DÍAZ, B., 1996. *La gestión del patrimonio arqueológico en España*, Madrid.
- RENFREW, C., 1997. *Virtual archaeology: great discoveries brought to life through virtual reality*, London.
- ROVIRA, S., 2005. "Nuevas tecnologías aplicadas al estudio y conservación de bienes culturales: estado de la cuestión en los museos españoles": *Marq, arqueología y museos* 0, 39-46.

- SALVADORI, F., 2003. "Three-Dimensional Scanning Techniques Applied to 3D Modelling of Pottery Finds", *Archäologie und Computer, Workshop 7*, Vienna 20-22 November 2002.
- SONG, Y-A. y PARK, S., 2006. "Experimental investigations into rapid prototyping of composites by novel hybrid deposition process": *Journal of Materials Processing Technology* 171, nº 1, 35-40.
- TEJADO SEBASTIÁN, J M^a., 2006. "La captura de información en los nuevos medios: las nuevas tecnologías en la formación de los investigadores": *I^{as} Jornadas de estudio y gestión del Patrimonio Cultural. Retos y oportunidades en el siglo XXI*, Logroño. Biblioteca Pública. 24-26 de Noviembre de 2005; *Berceo*, 151, 31-61.
- VALLE MELÓN, J. M., 2006. "Reflexiones sobre la documentación geométrica del patrimonio": *Papeles del Partal, Revista de Restauración Monumental* 3, 161-187.
- , (e. p.). "Medida y representación del patrimonio: alternativas y criterios de selección": *I^{as} Jornadas de estudio y gestión del Patrimonio Cultural. Retos y oportunidades en el siglo XXI*, Logroño. Biblioteca Pública. 24-26 de Noviembre de 2005.
- VERGNIEUX, R. y DELEVOIE, C., (eds.) 2004. "Virtual retrospect 2003": *Proceedings of the conference Biarritz (France)*, November 6th-7th 2003, Bordeaux.
- VV. AA., 2005. "Una nueva frontera en prototipado rápido": *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros* 89, nº 588, 546-549.
- ZANKER, P., 1992. *Augusto y el poder de las imágenes*, Madrid.

7. ANEXOS

ANEXO 1

KONICA MINOLTA

Non-Contact 3D Digitizer



Specifications

<p>Type Non-contact 3D digitizer</p> <p>Method Triangulation light block method</p> <p>Autofocus Image surface AF (contrast method); active AF</p> <p>Optical system Three interchangeable lenses, telephoto (f =25mm), medium (f =14mm), wide-angle (f = 8mm)</p> <p>Object distance 0.6m to 2.5m</p> <p>Scannable range (XY) / depending on distance Min. 111mm x 83mm Max 1196mm x 897mm</p> <p>Geometrical precision (typical for Z) ±/- 0.005mm (FINE)</p> <p>Measured data per scan 307,000 points (FINE) 76,800 points (FAST)</p> <p>Scanning time 0.3s (FAST) / 2.5s (FINE) / 0.5s (color)</p> <p>Ambient light < 500lux</p>	<p>Memory card Compact Flash Memory Card (128MB)</p> <p>Interface Fast SCSI</p> <p>Laser Class 1 (FDA) Class 2 (IEC 60825-1)</p> <p>Color LCD 5.7 inch color TFT LCD (320 x 240 pixels)</p> <p>File sizes 1.6MB (FAST) to 3.6MB (FINE)</p> <p>Output formats 3D: Konica Minolta Format & STL, DXF, OBJ, ASCII, VRML (export formats for 3D polygon editing software (standard accessory)) Texture: RGB, 24-bit color depth</p> <p>Dimensions 213mm x 413mm x 271mm (WxDxH)</p> <p>Weight Approx. 11kg</p> <p>Operating environment 10° to 40°C, RH < 65% (no condensation)</p> <p>Storage environment -10° to +50°C, RH < 85% (no condensation)</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Compact
- Portable
- No calibration

Konica Minolta's innovative 3D laser digitizing technology could be the perfect solution for you too.

We would be pleased to supply further information and look forward to hearing from you.

Figura 6. Especificaciones técnicas del escáner empleado (Konica Minolta VI-910).

ANEXO 2

EDEN 500V The 16 micron layer 3-Dimensional Printing System

Technical Specifications

Layer thickness (Z-axis)

Horizontal build layers down to 16-micron

Tray size (X x Y x Z)

500 X 400 X 200mm

Net build size (X x Y x Z)

490 X 390 X 200mm

Build Resolution

X-axis: 600 dpi: 42µ

Y-axis: 600 dpi: 42µ

Z-axis: 1600 dpi: 16µ

Printing Modes

HQ: High Quality

HS: High Speed

Accuracy

0.1-0.3mm typical (accuracy varies according to geometry, part orientation and print size)

Material Supported

- FullCure[®]720 Model transparent
- VeroBlue Opaque material
- VeroWhite Opaque material
- TangoBlack, rubber-like flexible material

- TangoGray, rubber-like flexible material
- FullCure[®]705 Support

Materials Cartridges

Sealed 4 x 3.6kg cartridges
Automatic switching between cartridges
Easily and instantly replaced through a front-loading door

Support structures

Non-toxic gel-like photopolymer support
Easily removed by WaterJet

Power Requirements

110 – 240 VAC 50/60 Hz
1.5 KW single phase

Machine Dimensions (W x D x H)

1320mm x 990mm x 1200mm

Machine weight

Net 410kg, Gross (in crate) 500kg

Software

Objet Studio[™] features:

- Suggested build orientation and speed, Auto-place
- Automatic real time support structure generation

- Slicing on the fly
- PolyLog[™] Materials Management
- Network Version

Input Format

STL and SLC File

Operational Environment

Temperature 18°C to 25°C
Relative Humidity 30-70%

Special Facility Requirements – None

Jetting heads

SHR (Single Head Replacement), 8 units

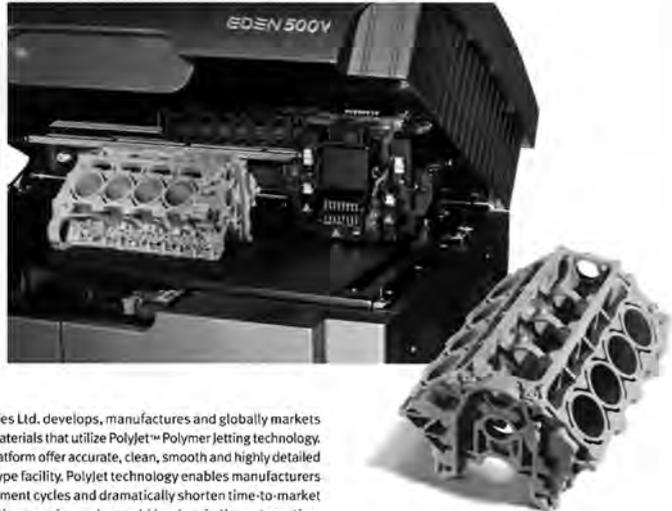
Network Communication

LAN - TCP/IP

Compatibility

Windows XP, Windows 2000

* All specifications are subject to change without notice



About Objet Geometries

A pioneer in jetting photopolymers, Objet Geometries Ltd. develops, manufactures and globally markets ultra-thin layer 3-Dimensional Printing Systems and materials that utilize PolyJet[™] Polymer Jetting technology. PolyJet technology and Objet's high-speed product platform offer accurate, clean, smooth and highly detailed 3-Dimensional models suitable for use in an office-type facility. PolyJet technology enables manufacturers and industrial designers to reduce product development cycles and dramatically shorten time-to-market of new products in many industries. Objet's solutions are in use by world leaders in the automotive, electronics, toy, consumer goods, and footwear industries in North America, Europe, Asia, Australia and Japan. Founded in 1998, Objet is privately owned and holds about 30 granted and pending patents.

Figura 7. Especificaciones técnicas de la impresora empleada (Objet EDEN 500V).