

Tecnología láser, fotogrametría, y modelos tridimensionales en la investigación del Patrimonio Maya.

MANUEL MAY CASTILLO
IRP, UPV, CONACYT

FILIPPO FANTINI
IRP, UPV.

INTRODUCCIÓN

Como es sabido, las tecnologías de la información avanzan de forma vertiginosa y cada día surgen nuevas herramientas informáticas que facilitan las tareas de documentación del patrimonio.

El equipo de Patrimonio y Cooperación al Desarrollo del Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV* en estrecha colaboración con el Proyecto La Blanca de la UV** mediante la ejecución de diversos proyectos en el área Maya de Petén Guatemala ha implementado el uso de diversas técnicas apoyadas con herramientas tecnológicas de última generación de cara a la investigación del Patrimonio Maya. Estas aproximaciones son realizadas desde disciplinas relacionadas con la arqueología y la arquitectura pero mantienen en todo momento un carácter interdisciplinar.

Las técnicas que aquí se exponen sobre todo ofrecen mejoras en la precisión durante las tomas de datos en campo en relación con los métodos tradicionales, mas calidad en la representación gráfica y facilitan su difusión por medios electrónicos. Adicionalmente, se hace una revisión general de los errores ó el nivel de exactitud en los métodos aquí experimentados.

NUEVAS METODOLOGÍAS EN LA DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO MAYA

Varios esfuerzos en la implementación de nuevas técnicas y tecnologías para la investigación del Patrimonio Maya se han centrado en la catalogación, análisis y difusión de la arquitectura Maya mediante fichas electrónicas cuyos datos son susceptibles de intercambiarse vía internet (May y Muñoz 2010), la investigación en campo de la arquitectura Maya aplicando técnicas fotogramétricas para la generación de fotoplanos (Muñoz et al. 2010) ó en el uso de modelos tridimensionales en la reconstrucción ideal y el estudio evolutivo de la arquitectura y el urbanismo del sitio La Blanca en Petén, Guatemala (Muñoz, Vidal y Peiró 2010).

En esta misma publicación se trata el tema de la digitalización de la cartografía histórica de los asentamientos mayas con el fin de hacerlos compatibles con las herramientas informáticas de análisis propias de los Sistemas de Información Geográfica y por otro lado para superponerlos a los modelos cartográficos digitales existentes en la actualidad que permitirían realizar estudios del paisaje que rodeaba los antiguos asentamientos urbanos mayas.

Acorde con la época actual, este abanico de propuestas metodológicas tiene en común el uso de un lenguaje digital -el cual consiste en el uso de un sistema binario sobre el que se fundamenta el uso de los ordenadores para el procesamiento y almacenamiento de datos- hoy en día accesible para la mayor parte de la población mundial, lo cual favorece en gran medida su difusión.

Pero además del aprovechamiento de las tecnologías de la información, en los trabajos de campo se ha implementado la tecnología láser, la cual es de amplia aplicación en varios campos de la ciencia, principalmente en medicina. En la investigación del patrimonio arquitectónico, la tecnología láser se aplica en los levantamientos arquitectónicos con el uso de distanciómetros, niveles y escáneres o en la limpieza de monumentos arquitectónicos mediante el empleo de rayos de diferentes frecuencias y longitudes de onda para la limpieza selectiva de costras o grafitis ajenas al propio monumento sin llegar a dañar la superficie del mismo (cf. Sáiz et al. 2006).

La topografía de los sitios del Chilonché y La Blanca (Calvo y Sánchez 2006) fue generada mediante el levantamiento topográfico con una estación total Leica TC 307, la cual también integra la tecnología láser para la toma de datos y un *software* integrado para realizar los diversos cálculos que anteriormente se hacían en gabinete.

Así mismo, desde el año 2009 dentro del marco de los proyectos *La Blanca y Análisis de los sistemas y materiales constructivos para la restauración y puesta en valor del patrimonio cultural maya*, se ha implementado el uso de diversos equipos con tecnología láser integrada, de tal forma que hoy en día se cuenta con una metodología propia para la investigación en arqueología y arquitectura maya que si bien, no está totalmente consolidada, se puede someter a una revisión general con el fin de detectar carencias e implementar mejoras de cara a trabajos futuros.

LOS EQUIPOS LÁSER

En los años 2009, 2010 y 2011 durante las temporadas de campo del proyecto La Blanca y durante los viajes de investigación a varios sitios arqueológicos mayas en Guatemala y México se utilizaron de forma complementaria a los levantamientos arquitectónicos tradicionales, un distanciómetro Leica D2 y un

nivel láser Leica Lino P5. El uso del método tradicional a cinta métrica permitió realizar las comprobaciones pertinentes que permitieran detectar posibles fallos e inconvenientes para el trabajo de campo con estos equipos láser.

Si bien, las mediciones del distanciómetro láser resultaron más precisas (± 5 mm) y más rápidas que las mediciones con cinta métrica, presentaron ciertos problemas específicos para el trabajo en campo: a) las hojas o ramas propias de la densa vegetación obstaculizaban los rayos, por lo que había procurar la eliminación de posibles obstáculos que generasen medidas erróneas, además se realizaron tres lecturas por cada distancia requerida b) la luz natural en el medio tropical hace difícil la visualización del punto de luz sobre la superficie de los muros, y aunque se solventó esta dificultad con la colocación de una tabla de dibujo que producía sombra sobre el muro, el mejor momento para la toma de medidas en espacios exteriores fue al atardecer o muy temprano por la mañana.

Podemos añadir a las ventajas de rapidez y precisión en la medición con láser, la reducción del número de personas que intervienen en la toma de datos y que para la toma de dimensiones verticales (alturas) no se precisaron escaleras o subir por encima de las cubiertas de los edificios, logrando de este modo que la toma de datos resulte menos invasiva e incluso evitando correr riesgos innecesarios en el trabajo de campo debido a que algunos de los monumentos estudiados se encuentran mal estado de conservación y podrían causarse derrumbes.

El uso del nivel láser también presentó ciertas problemáticas, similares a las del distanciómetro, y además también se detectaron variaciones en la precisión de los datos. Aunque normalmente los fabricantes garantizan una precisión de $\pm 1-2$ mm a los 10 metros de distancia y, ofrecen un rango de autonivelación de $\pm 4^\circ$, cada vez que se movía el aparato de una estación a otra el error se acumulaba de forma sistemática. A pesar de que la precisión ofrecida por el fabricante es suficiente para los trabajos de levantamiento arquitectónico, se detectaron errores mayores a los 2 mm, pero en la mayoría de los casos estas variaciones fueron ajenas al funcionamiento del aparato, mas bien se deben a imprecisiones humanas, como las marcas a lápiz hechas sobre un poste, el grosor mismo del lápiz o bien, que a distancias mayores de 10 metros el *spot* o punto de luz del nivel se hace más grande y depende del personal definir el centro del *spot*. A pesar de todo lo anterior se pudo comprobar que el nivel láser frente al nivel óptico ofrece mayor rapidez en la toma de datos, aunque la precisión es prácticamente la misma.

Durante la documentación del ya conocido mascarón del sitio El Chilonché en el año 2010 fue cuando mejor rendimiento se obtuvo del uso de estos equipos láser, ya que se trataba de realizar un dibujo en planta de una escultura subterránea con características morfológicas complejas. En el campo se diseñó

un sistema de medición que funcionaba con el principio del “peine perfilador” usado en arqueología para obtener los perfiles de las piezas de cerámica, pero en este caso se requería una herramienta que funcionase a mayor escala (Ver Fig.1). Aprovechando que el nivel láser ofrece rayos perpendiculares en tres planos (x,y,z) y el distanciómetro genera medidas con precisión milimétrica (0.000) se tomaron medidas a cada 5 cm a un mismo nivel en dos direcciones, de tal forma que se cubría la totalidad de la superficie deseada (Fig.2). Adicionalmente se tomaron los niveles de piso que aparecieron en los túneles de saqueo y con el sistema de perpendiculares y mediante triangulaciones se dibujaron las secciones en planta de los túneles, como resultado se obtuvo un dibujo en planta que incluye la totalidad del mascarón y los túneles cercanos (Fig. 3). Desde luego, la falta de luz natural dentro de los túneles de saqueo favoreció en este caso el uso de la tecnología láser ya que todos los spots eran visibles desde cualquier punto del túnel.

Figura 1. Croquis de levantamiento sobre un plano a nivel

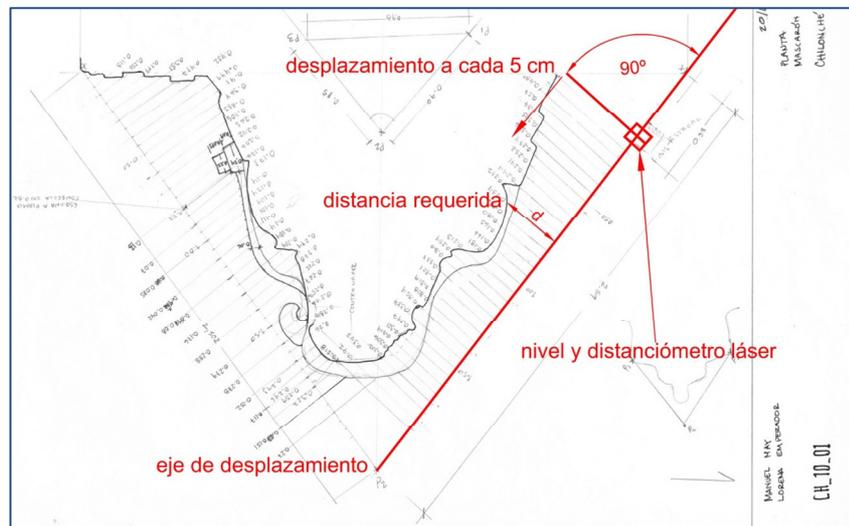


Figura 2. Toma de datos sistemática con equipos láser

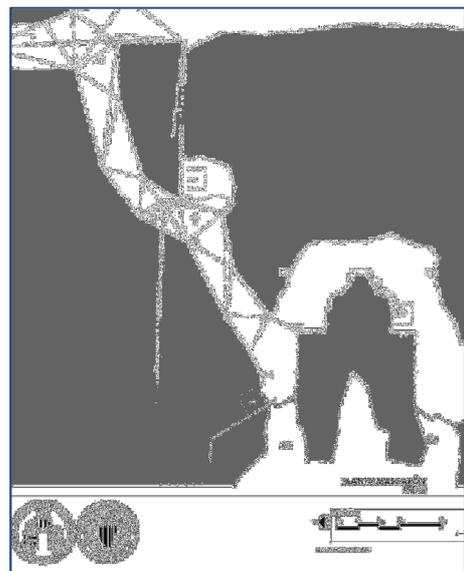


Figura 3. Resultado final del levantamiento

MODELADO MEDIANTE ESCANER LÁSER

En las excavaciones arqueológicas se obtienen piezas cerámicas y material lítico, las cuales precisan de una documentación científica de la geometría del objeto. Esta labor resulta en muchos casos inviable por la cantidad de piezas obtenidas en cada temporada de campo, los escáneres láser de corto alcance pueden ser una herramienta ideal para ésta tarea. El proceso experimental que se detalla a continuación tuvo la finalidad de escanear una copia de una pieza cerámica maya de estilo Calakmul, de un tipo conocido en el ámbito arqueológico como *vaso trípode con tapa*.

El tipo de aparato que se utiliza en este estudio funciona a base de triangulaciones con el método llamado *Stripe Laser Triangulation* (MLT) y tiene una precisión variable en función de la tipología de toma de datos: por un lado está el escaneado para objetos distantes (modo *wide*), es decir, a una distancia que varía de 40 a 60 cm y por otro lado, el escaneado para objetos pequeños (modo *macro*) para los que se debe traer el escáner a una distancia de 15-20 cm. Este tipo de aparato se encarga de la conversión en malla de triángulos de los puntos levantados con cada escaneado. En todos casos el tamaño de los bordes de esos triángulos está por debajo del milímetro y puede variar según el ángulo de incidencia del rayo laser, la distancia entre la superficie del objeto levantado y la fuente de emisión de los rayos laser (Fig.4).

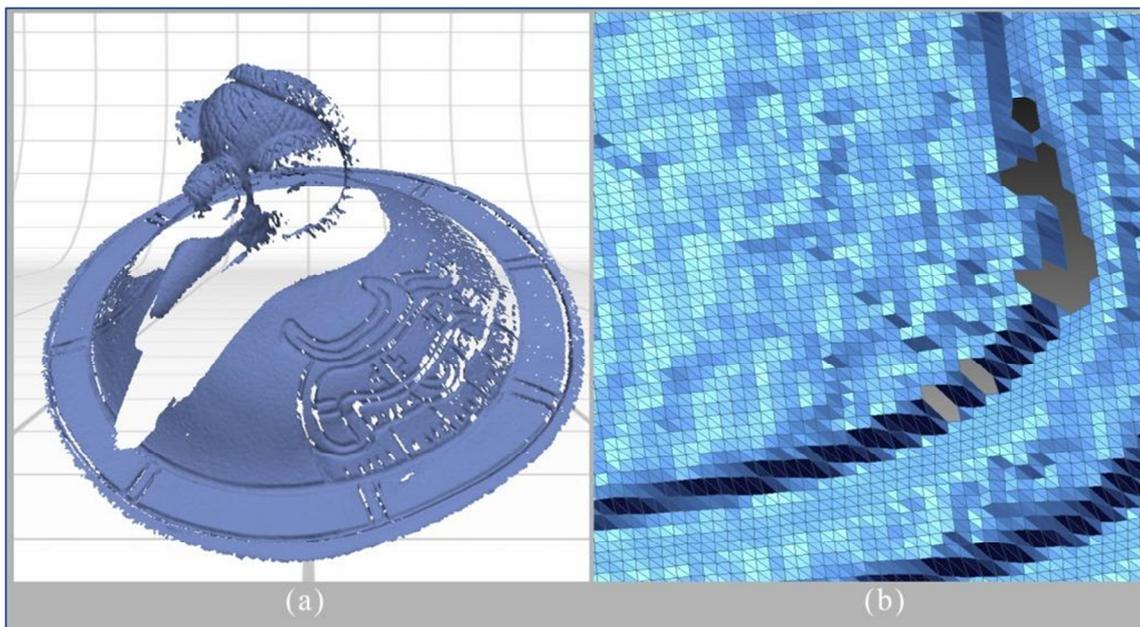


Figura 4. Malla de triángulos mediante el Stripe Laser Traingulation

Es importante hacer todos los escaneados necesarios con el fin de obtener un modelo 3D digital que no tenga lagunas - típicamente llamadas “oclusiones”-, de lo contrario estos agujeros deberán ser repuestos por el software si no se quiere obtener del escáner un modelo incompleto. Cada diferente malla debe tener una superposición con la anterior por lo menos de un 40% de la superficie ya que los algoritmos de alineación (*Interactive Closest Point-ICP*) se basan en la minimización de los mínimos cuadrados de la distancia entre puntos homólogos pertenecientes a dos escaneados distintos (Fig.5). En esta área de superposición deben haber por los menos 3 puntos homólogos reconocibles con sencillez por el usuario.

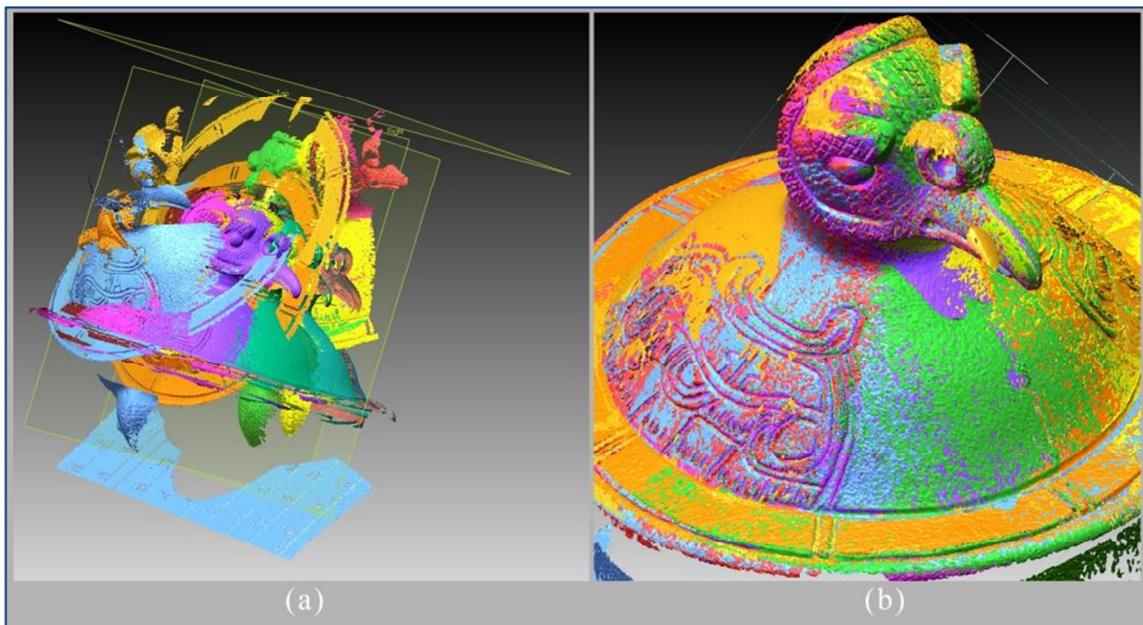


Figura 5. Superposición de malla de triángulos

Una vez alineadas todas las diferentes mallas hay una fase de integración de escaneados que básicamente consiste en la creación de una malla única perfectamente cerrada donde las superposiciones se han eliminado logrando una concatenación de triángulos limpia y sin errores topológicos (Fig.6).

Una vez terminado el proceso de limpieza de la malla que básicamente consiste en borrar triángulos superpuestos y cerrar huecos debidos a oclusiones se pasa a un aspecto de gran importancia para todas las siguientes fases de restitución del levantamiento: la alineación del modelo digital con un sistema de referencia (x,y,z) (Fig.7). De hecho el modelo tiene que ser alineado con los planos coordenados para obtener dibujos en proyección ortogonal y secciones acordes con la representación canónica en la arquitectura.

Entre las posibilidades ofrecidas por los programas de modelado inverso (*reverse modeling*) hay dos que permiten sacar directamente del modelo de

mailla dibujos 2D en forma de polilíneas o curvas *spline*, en el primer caso será posible exportar estas siluetas en proyección ortogonal en formato DXF (*Drawing Exchange Format*) para programas CAD y en el otro caso, la exportación será posible a través del formato IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*) (Fig. 8).

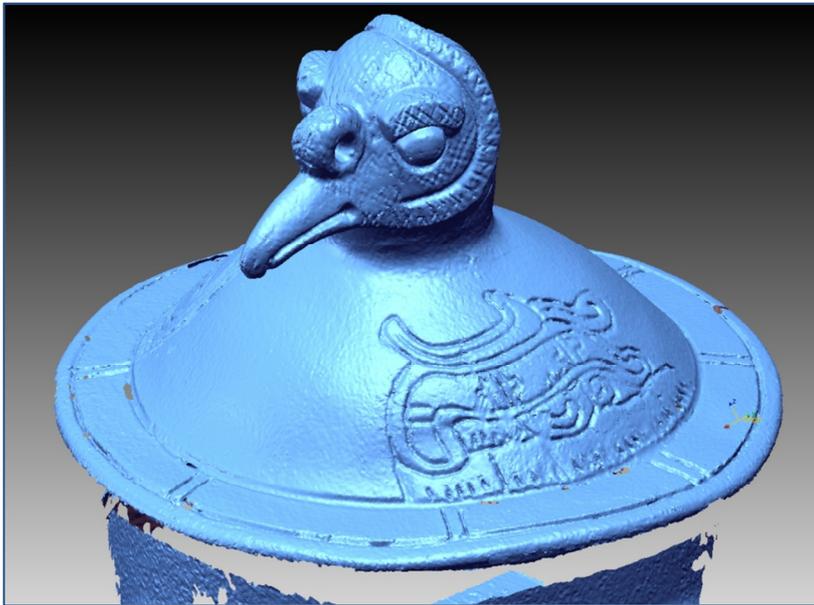


Figura 6. Malla única

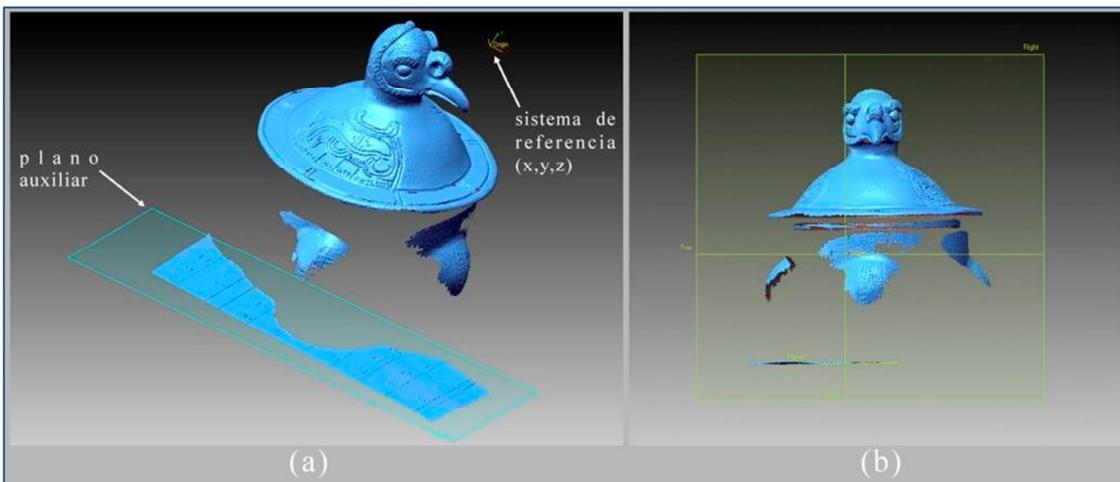


Figura 7. Alineación sobre un plano de referencia en un espacio coordenado

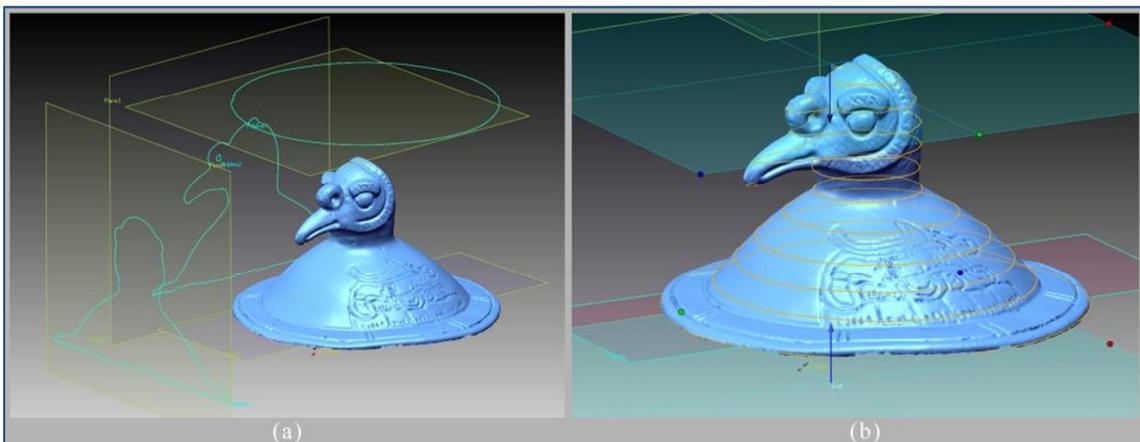


Figura 8. Secciones obtenidas a partir del modelo, previas a exportar a un formato CAD o IGES

LA FOTOGRAMETRÍA Y LOS MODELOS TRIDIMENSIONALES

Las técnicas fotogramétricas permiten obtener las geometrías arquitectónicas con precisión milimétrica, además de resultar menos invasivas que las técnicas tradicionales. Los métodos fotogramétricos son recomendados por diversas organizaciones internacionales dedicadas al estudio y la protección del patrimonio cultural como el ICOMOS o el CIPA (International Scientific Committee for Documentation of Cultural Heritage) a través de sus diversas publicaciones (véase Patias y Santana 2011).

En los proyectos mencionados anteriormente también se implementó el uso de técnicas fotogramétricas como complemento a las labores documentación arquitectónica, el método para esta toma de datos se ha descrito en un trabajo anterior (Muñoz et al. 2010) por lo que aquí solo se mencionará brevemente. En las temporadas de campo 2009 y 2010 del proyecto La Blanca realizamos la documentación con fotoplanos en la arquitectura visible del sitio del Chilonché y en los cuartos del Ala Norte del edificio 6J2 de La Blanca (Fig.9), de este modo, fue posible documentar patologías (fisuras, grietas, humedades, filtraciones) ó pinturas murales en muros en su verdadera forma y magnitud, lo cual no se consigue con los levantamientos tradicionales, además está la posibilidad de documentar los colores impresos en el monumento en el momento de la toma de datos, gracias a ello es posible realizar comparaciones con muestras futuras para detectar posibles deterioros debidos al paso del tiempo y así diseñar acciones preventivas.

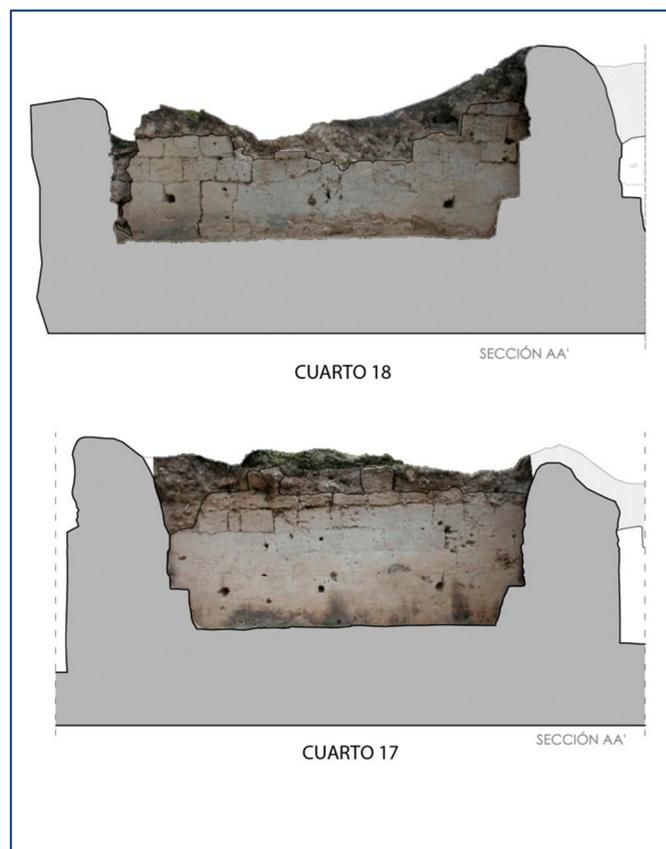


Figura 9. Fotoplanos del edificio 6J2, La Blanca, Guatemala

De forma general, cabe señalar que se detectaron ciertos fallos en los fotoplanos sobretodo en la áreas que quedan fuera del espacio limitado por las dianas, para el caso de las cubiertas mayas, el muro de aproximación al estar inclinado y quedar fuera del área de las dianas producía imprecisiones por encima de los 20 cm, por tanto fue necesario hacer una rectificación por partes, tratando de incluir en el espacio de las dianas el mayor área posible (Fig.10).



Figura 10. Errores en fotoplanos en áreas exteriores a las dianas

Adicional a la producción de ortofotografías, se ha experimentado con el uso de diversos *software* de fotogrametría que emplean el llamado *photo based scanning* o *photogrametric scanning* para la producción de nubes de puntos similares a las obtenidas mediante escáner láser pero estas obtenidas con fotografías del objeto tomadas de forma sistemática. Posteriormente estas nubes de puntos son transformadas en mallas de superficie con una *textura de color aparente* que simula, mediante la *ponderación optimizada* de las imágenes la textura original (cf. Baldissini *et al.* 2010). La aplicación de esta técnica tiene sus orígenes en la producción de los Modelos Digitales de Elevación que emplean pares estereoscópicos de fotografías aéreas y en la visión computarizada por estéreo correspondencia (*computer vision stereo matching* por sus siglas en inglés) basada en el principio de profundidad visual interpretada por el cerebro humano a través de los dos ojos. Los distintos *softwares* que funcionan con esta tecnología emplean la luz natural o artificial de forma pasiva, pero ésta resulta fundamental, como se pudo comprobar en

los casos experimentales que se describirán abajo, por tanto se requiere en todo momento de una buena iluminación del objeto estudiado, ya sea mediante fuentes naturales o artificiales, evitando producir sombras al mínimo, las cuales muchas veces son interpretadas por el software como regiones más profundas de la superficie.

Los modelos obtenidos mediante ésta técnica resultaron de distinta calidad, principalmente debido a las variaciones de luz, ya que como es bien sabido los espacios interiores en la arquitectura maya suelen ser oscuros dadas las proporciones y la ausencia de ventanas de grandes dimensiones. Los casos estudiados aquí - correspondientes al departamento de Petén, Guatemala- cumplían estos requisitos, por tanto se realizaron varias pruebas añadiendo luz artificial incandescente o por el contrario manteniendo la luz natural.

En el sitio de Tikal se eligieron el cuarto central del Palacio Maler (5D-65) y uno de los cuartos del Palacio de las Ventanas (5C-13), para la experimentación en espacios interiores sin iluminación artificial usando una cámara digital Canon EOS 350D sobre trípode, el resultado final (Figs.11 y 12) muestra una malla triangular de superficie que reproduce de forma muy precisa las medidas globales del espacio arquitectónico, no obstante se observaron algunas *oclusiones* y algunos *small cluster* (grupos pequeños) de triángulos ajenos que se deben eliminar del modelo, por otra parte lo que sí se aprecia con gran detalle son patologías como la microflora que se desarrollada en ambientes de alta humedad, grafitos contemporáneos realizados por turistas y los faltantes de estuco en muros.

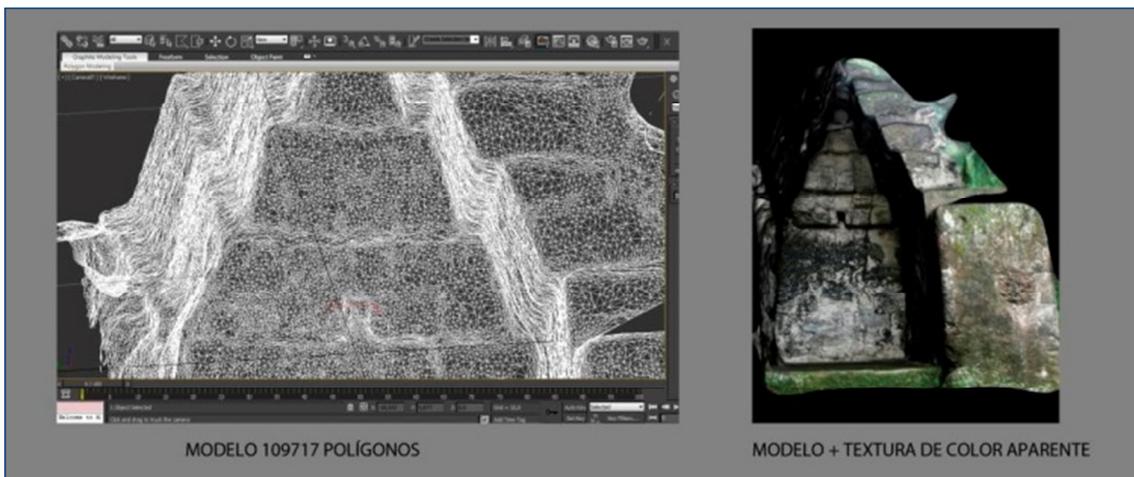


Figura 11. Malla triangular del edificio 5C-13 y generación de textura del modelo

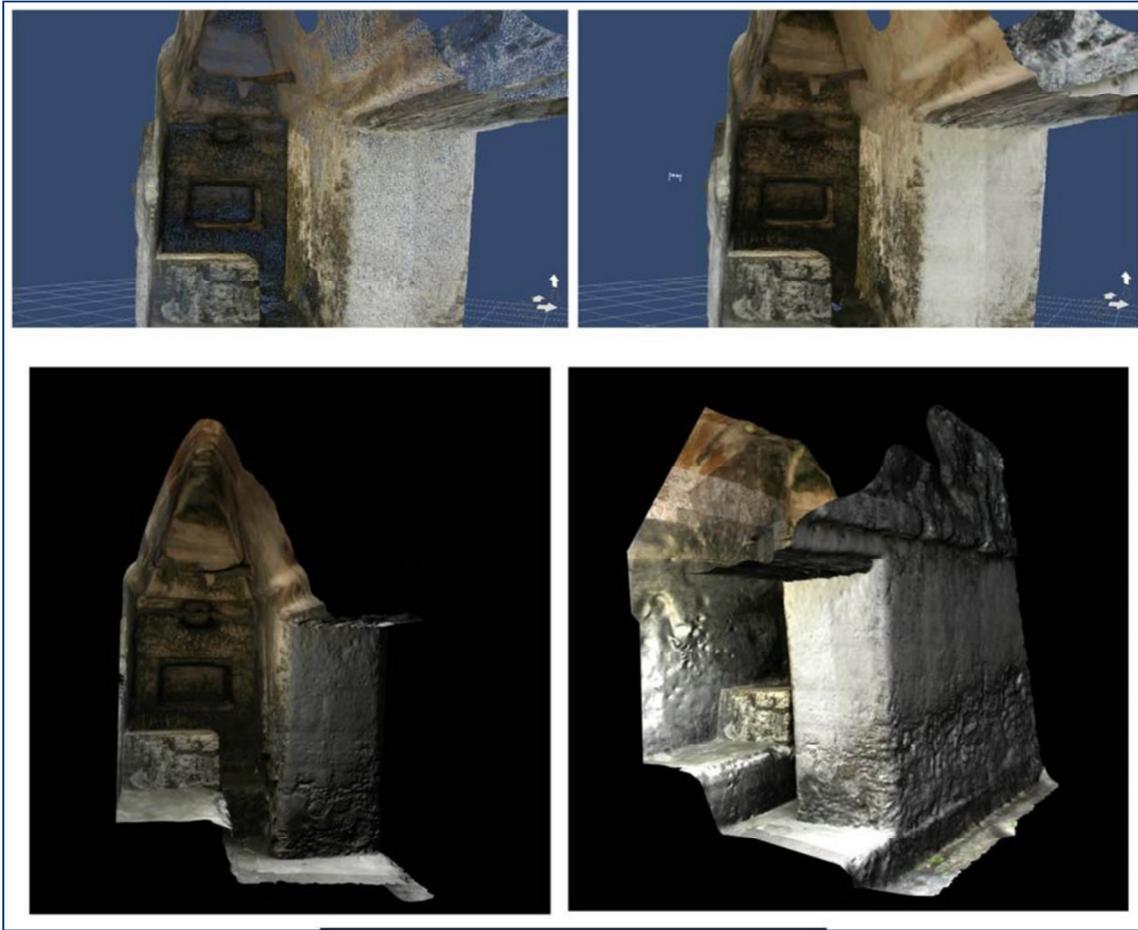


Figura 12. Malla triangular del Palacio Maler y generación de textura del modelo

También en Tikal, para la experimentación con iluminación natural en exteriores se eligió el edificio 5D-96 del complejo arquitectónico Siete Templos (Fig. 13) usando la misma cámara digital sobre trípode. En este caso se observan oclusiones menores sobre los paramentos producidos principalmente por la falta de visibilidad hacia esas zonas, esto es, lo que se denomina coloquialmente como *sombras*, las cuales también se producen con el uso del escáner láser. La cantidad de polígonos por metro cuadrado del modelo tridimensional resultante es directamente proporcional con el número de píxeles por metro cuadrado introducidos al software. Por tanto, para lograr una mejor resolución del modelo basta con realizar las fotografías desde una distancia más cercana, ello explica que en términos generales los modelos de espacios interiores suelen tener mejor resolución que las superficies exteriores.

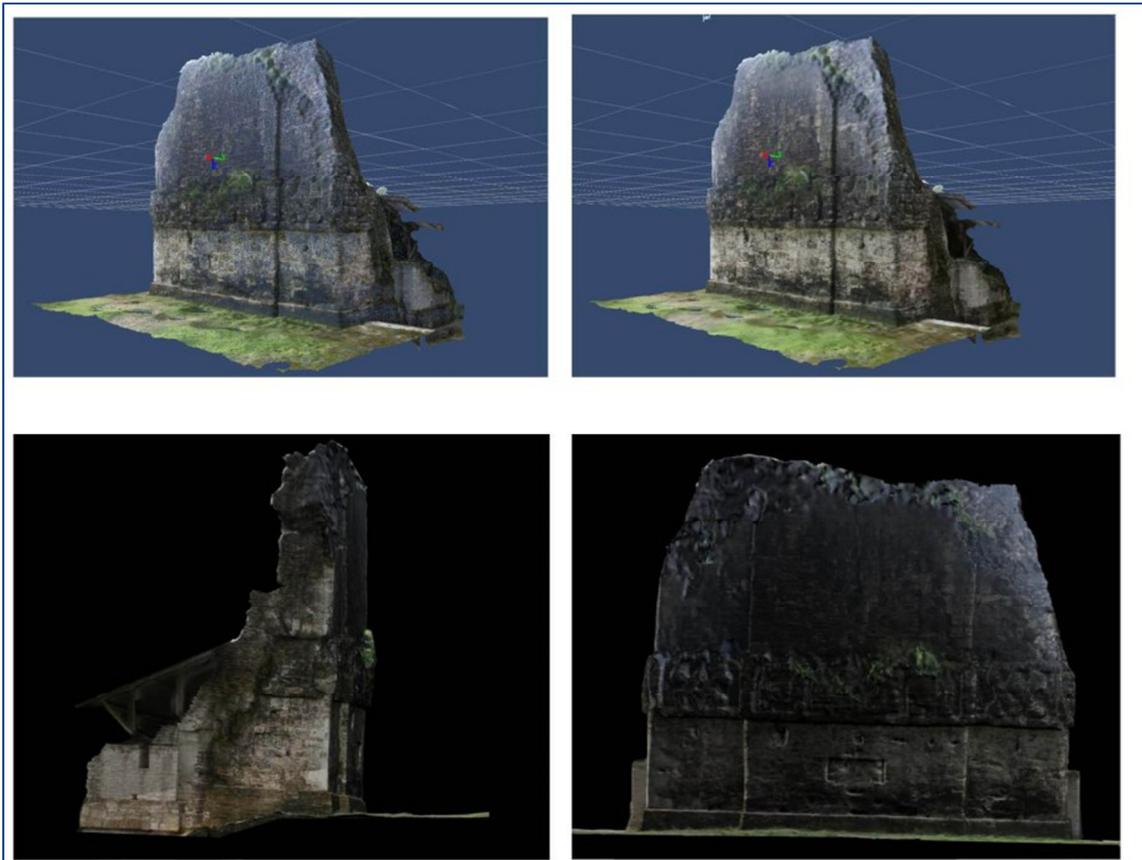


Figura 13. Malla triangular del edificio 5D-96

Finalmente se realizaron modelos experimentales en espacios interiores en un cuarto del ala norte del sitio El Chilonché, en el mascarón del mismo sitio y en el cuarto 2 del edificio 6J1 de La Blanca, usando el mismo equipo fotográfico y tres lámparas incandescentes de 100 watts alimentadas por un generador a gasolina.

El cuarto del ala norte del sitio del Chilonché fue documentado en condiciones especiales, ya que éste cuarto se había descubierto recientemente debido al expolio constante al que estaba sometido el sitio y solo se pudo trabajar en un pequeño espacio al que se accedía por medio del orificio creado por los saqueadores. En estas condiciones se pudo generar un modelo tridimensional de una parte de la cubierta, la única visible debido a que el resto del cuarto mantenía el relleno de piedra y barro fabricado por los mayas antiguos. A finales de la temporada 2011 del proyecto La Blanca, este cuarto fue liberado de escombros y se pudo realizar un levantamiento arquitectónico por un equipo diferente de arquitectos pertenecientes al mismo proyecto. Gracias a los planos de los arquitectos Zacarías Herguido y Saray Montalvo pudimos realizar comparaciones con el modelo tridimensional generado anteriormente y de este modo se comprobó que la geometría tridimensional del modelo y la medidas

tomadas posteriormente eran altamente similares, especialmente las pendientes de la cubierta (Fig.14), pero con la ventaja de que las deformaciones estructurales y las grietas se pueden analizar mejor en el modelo tridimensional que las registra con su forma y dimensión real.

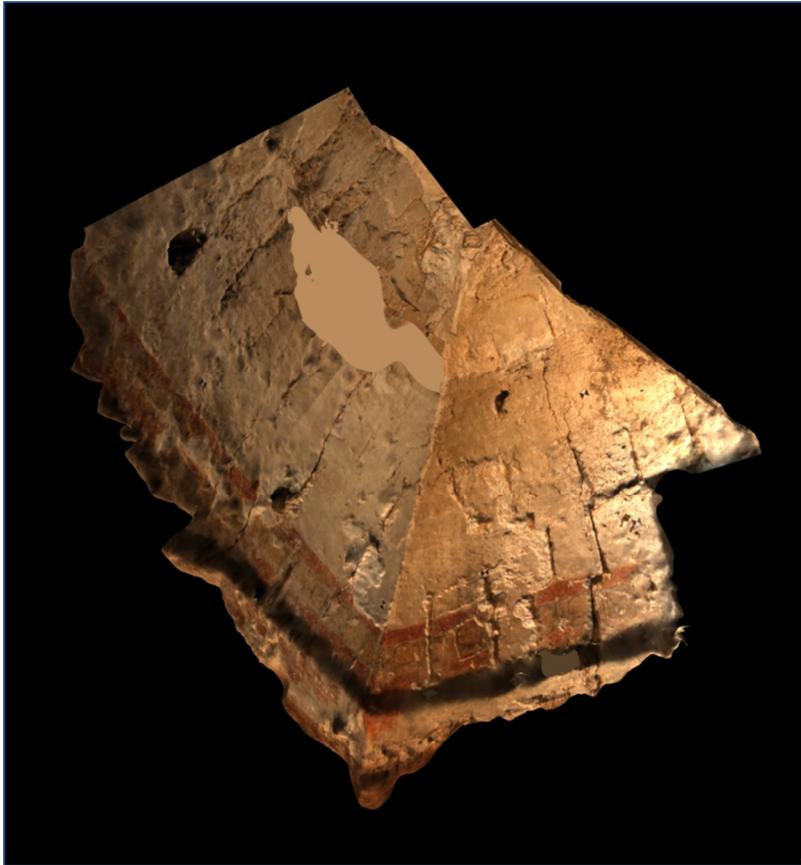


Figura 14. Modelo tridimensional de cubierta, Chilonché, Guatemala

En el caso del cuarto 2 del edificio 6J1 de La Blanca, en temporadas previas, se había realizado un levantamiento arquitectónico detallado con el sistema tradicional a cinta métrica, por lo cual se consideró oportuno experimentar con los modelos tridimensionales generados mediante *photo based scanning*. El modelo obtenido muestra una geometría mas o menos regular en planta que se corresponde con gran exactitud con las dimensiones obtenidas con cinta métrica y comprobadas por nosotros con el distanciómetro láser. Una cuestión interesante es la forma irregular del espacio interior visto en planta, esta forma irregular también había sido registrada en los levantamientos previos con distanciómetro láser (Fig.15).

El último modelo experimental se dedico al mascarón del sitio del Chilonché. En este caso se utilizó el mismo equipo fotográfico y las mismas lámparas para iluminar el túnel creado por los saqueadores. El modelo resultante presenta algunas *oclusiones* o lagunas, de algún modo “previstas” ya que fuimos conscientes que la iluminación no era suficiente y el espacio alrededor del

objeto no permitía realizar fotografías de forma sistemática, y por otro lado, la lluvia exterior provocaba fallos en el generador de electricidad produciendo variaciones en la intensidad de la luz. A pesar de todas las incidencias, se pudo generar un modelo tridimensional de casi la totalidad de la superficie del objeto, el cual se presenta en este trabajo (Fig.16).

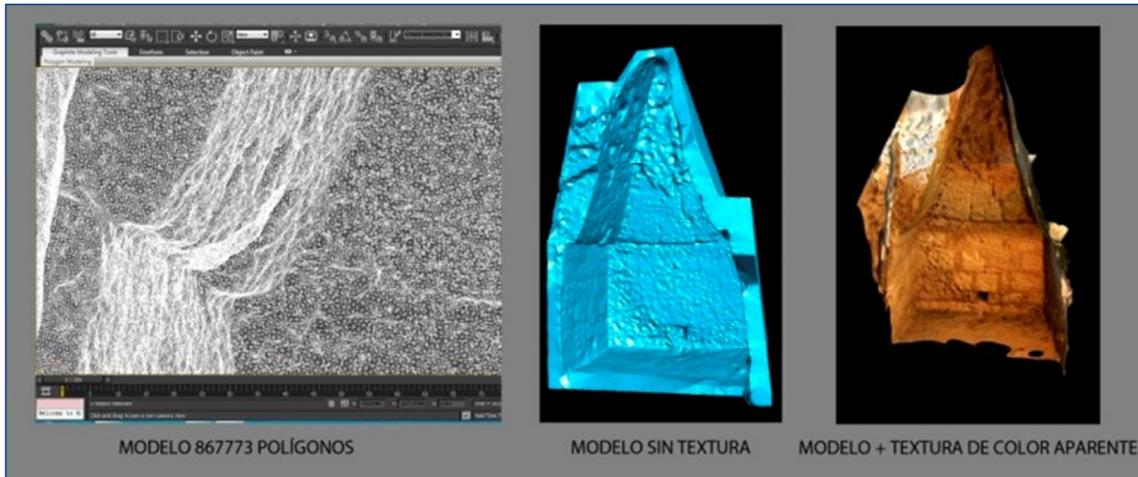


Figura 15. Modelo tridimensional del edificio 6J1 La Blanca, Guatemala



Figura 16. Modelo tridimensional del mascarón dl Chilonché, Guatemala

TEXTURAS Y MODELOS DE BAJA RESOLUCIÓN

Uno de los temas más complejos que hoy en día cada usuario de aparatos escáner laser ó de software con tecnología *photo based scanning* tiene que solucionar es la optimización de los modelos digitales 3D. Con la palabra optimización nos referimos a una serie de pasos que permiten aligerar el peso computacional de los modelos de alta densidad geométrica para que se puedan emplear en varias aplicaciones informáticas no necesariamente pertenecientes al sector del levantamiento con escáner (Fig.17).

Por ejemplo los programas para el desarrollo de animaciones y videojuegos no permiten, en términos generales, emplear mallas de varios millones de polígonos ya que están diseñadas para crear imágenes de alto realismo para la divulgación a través de la utilización abundante de texturas pero con una geometría 3D simplificada. Gracias a las técnicas que provienen del sector de los videojuegos (*Image Based Data Processing-IBDP*) es posible conseguir una alta calidad en la representación de dichos modelos, es decir, un modelo de alto detalle aunque con menor resolución geométrica. Básicamente hay tres distintas formas de optimización: una está basada en la generación de mapas de normales (normal map), otra en mapas de desplazamiento (displacement map) y la más común consiste en mapear el modelo con fotografías (color aparente).

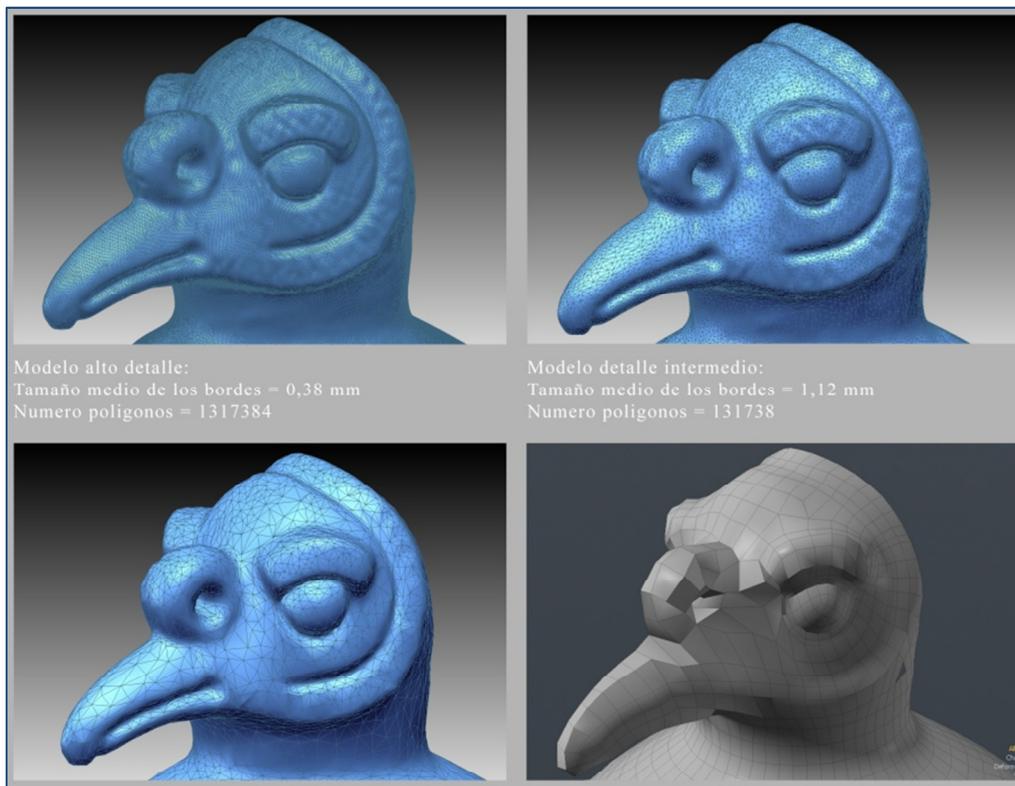


Figura 17. Modelos de baja resolución a partir del modelo generado por escáner láser

En todos los casos se requieren dos modelos, uno de alta y otro de baja resolución. En el primer caso al modelo se le puede restar resolución con programas de modelado inverso y luego se genera un mapa mediante la metodología llamada *render-to-texture* o *bake-to-texture*. El mapa de normales requiere la generación previa de un sistema de referencia bidimensional adecuado (*u,v mapping*) gracias al cual se puede calcular una textura donde se codifican las tres componentes vectoriales de las normales de los polígonos que constituyen el modelo de alta resolución, generando de este modo una sencilla textura en RGB (*red, green, blue*). Las tres componentes de un vector en el espacio (x,y,z) se convierten en valores de los tres canales de un *bitmap* (mapa de dígitos binarios): el rojo, el verde y el azul.

Este tipo de mapa, aparentemente restablece el detalle eliminado mediante la simplificación geométrica (Fig.18), pero por desgracia no mejora los contornos aparentes del modelo simplificado. Así que esta técnica permite crear modelos digitales con fines de difusión (aplicaciones real-time, animaciones 3D, etc.), pero no son útiles para una investigación en profundidad del artefacto ya que sólo se ocupa de la apariencia del modelo.

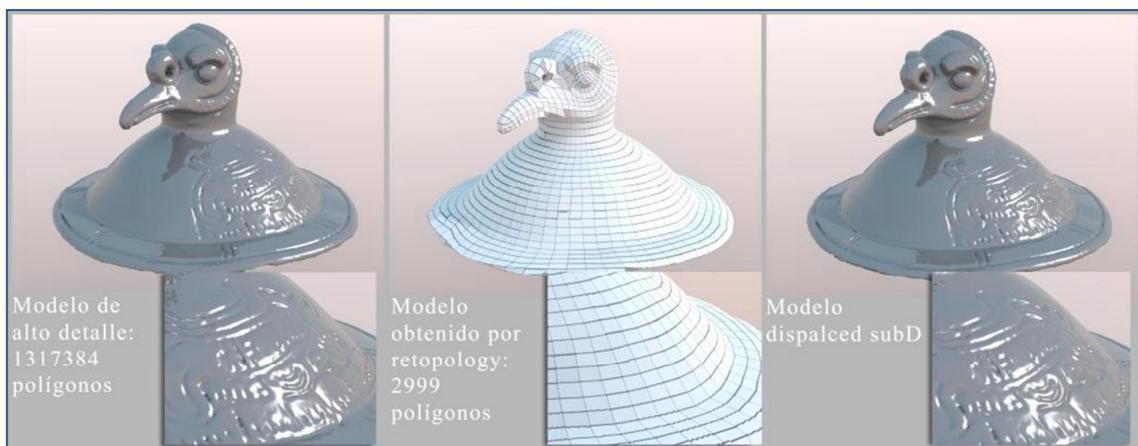


Figura 18. Modelos simplificados geométricamente con textura a partir de un bitmap

Otra posibilidad de optimización prevé el empleo de las *displaced subdivision surface*. Este técnica permite una compresión muy alta de los datos geométricos y tiene la ventaja de ser capaz de cambiar de forma interactiva la resolución del modelo 3D como ocurre en el caso de los modelos NURBS (*non-uniform rational B-spline*).

Pero el problema es que hay que reconstruir todo el modelo con una malla de polígonos rectangulares (*quad dominant remashing*). Es necesario recurrir a esta topología de cuadriláteros, ya que puede ser fácilmente transformado en una superficie de subdivisión que gracias al detalle variable permite -mucho

mejor en comparación con un modelo de malla- mantener una representación correcta de la forma del objeto (Fig.19).

De hecho, una vez que se aplica un mapa de desplazamiento a un modelo de detalle fijo (*mesh*), en ciertos puntos, se crea una discontinuidad evidente: el modelo aparece como si hubiera sido perforado o cortado. En los modelos *SubD* este efecto está prácticamente ausente y se presenta en forma muy suave sólo en algunas áreas que corresponden a los puntos de discontinuidad del mapa *UV* (Fig.20): es decir a lo largo de los bordes utilizados para “abrir” el modelo y mapearlo en el sistema de referencia (U, V).



Figura 19. Modelo a base de malla de rectángulos

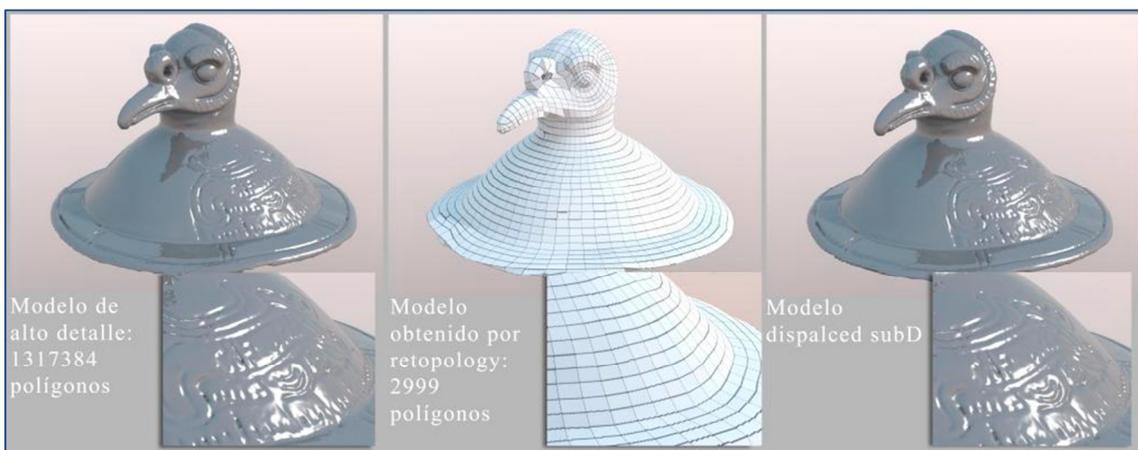


Figura 20. Modelo SubD

La tercera opción para la optimización es mapear con imágenes apropiadas el modelo de bajo detalle, de tal manera que la textura del color aparente pueda proporcionar al observador la información eliminada con la disminución del número de polígonos. Esta textura evidentemente emplea un sistema de referencia (U,V) para aplicar la imagen alrededor del objeto y puede cooperar con el efecto producido por los mapas de normales (Fig.21).

Pero debe recordarse que los mapas de normales y de desplazamiento se pueden obtener de dos formas muy diferentes: en el caso de las dos técnicas que se han comentado precedentemente, el mapa se genera a través de un cálculo llamado *render-to-texture* (*baking*, etc.) que no puede prescindir del modelo de alto nivel de detalle. Así mismo, los mapas de normales y de desplazamiento se pueden generar a través de la edición del color aparente de una textura, gracias a programas especiales (*CrazyBump*, *ShaderMap*, etc.) que, sin embargo, no garantizan exactamente el mismo resultado ya que no obtienen la información directamente de la geometría de una malla obtenida por el escáner.



Figura 21. Modelo de bajo detalle con textura de color a gran detalle

DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO MAYA

Las nuevas tecnologías de la información permiten difundir y divulgar el patrimonio cultural de forma masiva y en muchas ocasiones a tiempo real. Para divulgar el patrimonio cultural son necesarias las labores de documentación con carácter científico, sin embargo, esta labor científica produce una gran cantidad de información que en muchos casos representan una limitación para ser difundidos por medios electrónicos interactivos. Parece claro que la divulgación de dibujos y en particular maquetas 3D que sintetizan los

resultados de un estudio necesitan de una importante fase de planificación antes de llegar a la divulgación por los medios antes citados.

A través de la interacción de diferentes aplicaciones informáticas, las fases de investigación y de difusión de los resultados científicos han sido desarrolladas en particular en los últimos años gracias a los llamados “sensores activos”, es decir estaciones totales y escáner laser y “sensores pasivos” como en el caso de la fotogrametría de última generación

Una vez adaptados los datos para su difusión por internet, el abanico de posibilidades es bastante amplio, desde la creación de bases de datos disponibles en sitio web, hasta exposiciones virtuales. Acerca de las exposiciones virtuales podemos decir que hoy en día ofrece grandes posibilidades en la difusión del patrimonio cultural (ver por ejemplo Juan et al. 2010).

Anastilosis virtuales y reconstrucciones en 3D basadas en escaneados 3D tienen un alto nivel de exactitud y por su puesto permiten de forma muy sencilla que el público en general pueda entender las formas originarias de la arquitectura así como los objetos de cultura material.

Calidad de la divulgación científica y capacidad de entretenimiento a través de medios informáticos, tanto mejor si son utilizables en dispositivos portátiles, constituyen un binomio fundamental para el desarrollo no solo del conocimiento en sí, sino también para la divulgación en general del patrimonio cultural de forma masiva.

Adicionalmente la difusión de este importante patrimonio cultural mediante las nuevas tecnologías de la información permitiría establecer puentes entre las nuevas generaciones de mayas modernos y los mayas antiguos. Son muchos los jóvenes mayas que en la actualidad cuentan con teléfono celular e internet y desde sus lugares de origen se están integrando a una cultura global, que les permite conocer a personajes deportivos de talla mundial, aunque por otro lado desconocen a los grandes personajes que forjaron las bases de esta gran cultura. Es este quizá uno de los grandes retos que deberemos afrontar en un futuro inmediato los mayistas en colaboración con las estructuras políticas y educativas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los directores del Proyecto La Blanca, al Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por las facilidades, instalaciones y el equipo dispuesto para la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Baldissini, S., Gaiani, M., y Remondino, F. (2010). Rilievo, gestione e mappatura del colore. En Benedetto Benedetti, Marco Gaiani, y Fabio Remondino (Eds.), *Modelli digital 3D in archeologia: il caso di Pompei* (pp. 201–235). Pisa: Edizioni della Normale.
- Fantini, F. (2010). Image Base Data Processing (IBDP): la restituzione attraverso displaced subD a partire da rilevamento laser. *Il modello in architettura, cultura scientifica e rappresentazione*, Materia e geometría (pp. 149–158). Firenze: Alinea Editrice.
- Gaiani, M., (2006). *La rappresentazione riconfigurata*. Milano, Edizioni POLI.design. 67–68.
- Juan Vidal, F., Benlloch Castelló, Á., y Fantini, F. (2010). Nuevas metodologías para divulgación del patrimonio disperso. *ARCHÉ*, 4-5, 319–324.
- May Castillo, M., y Muñoz Cosme, G. (2010). La ficha electrónica como instrumento para la investigación de la Arquitectura Maya. *ARCHÉ*, (4-5), 253–260.
- Muñoz Cosme, G., Matarredona, N., Martín Domínguez, B., y May Castillo, M. (2010). Arquitecturas olvidadas: las expediciones científicas como método de investigación del patrimonio en peligro. *ARCHÉ*, (4-5), 373–380.
- Muñoz Cosme, G. (2005). La arquitectura palaciega de La Blanca. En G. Muñoz Cosme y C. Vidal Lorenzo (Eds.), *La Blanca, arqueología y desarrollo* (pp. 25–33). Valencia: UPV.
- Muñoz Cosme, G., Vidal Lorenzo, C., y Peiró Vitoria, A. (2010). La arquitectura de la acrópolis de la Blanca (Guatemala). *ARCHÉ*, (4-5), 381–386.
- Petros Patias, Mario Santana. (2011). Introduction to Heritage Documentation. *CIPA Heritage Documentation, best practices and applications, Series 1, 2007 y 2009* (pp. 9–14). Presentado en XXI International Symposium-CIPA 2007, Athens; XXII International Symposium-CIPA 2009, Kyoto, Greece: Ziti Publications.
- Sáiz Mauleón, B., García Codoñer, A., Torres Barchino, A., y Jorge Llopis, V. (2006). La tecnología láser aplicada a la limpieza de obras de arte. Experimentación y aplicación. *ARCHÉ*, (1), 325–328.
- Calvo Báguena, V. M., y Sánchez Marco, M. (2006). El levantamiento topográfico. En G. Muñoz Cosme y C. Vidal Lorenzo (Eds.), *La Blanca, arquitectura y clasicismo* (pp. 65–70). Valencia: UPV.