

## Visualización tridimensional hiperrealista e interactiva: Cámara Santa y Joyas de la Catedral de Oviedo

### Hyper-realistic and interactive three-dimensional visualization: Holy Chamber and Jewels of the Cathedral of Oviedo

Julio Ruiz, Luis Rovés y Ángel García Voces

Fundación ITMA

---

#### **Resumen**

*Los nuevos avances desarrollados en el registro de datos 3D y su post procesamiento nos han permitido conseguir modelos cuyo acabado es un paso cualitativo hacia una visualización hiperrealista de los mismos, bien sean esculturas o monumentos arquitectónicos.*

*Unificando las tecnologías de escaneado 3D, fotogrametría, mapeado de texturas, propiedades físicas de la iluminación y herramientas de desarrollo de contenidos interactivos, hemos desarrollado un novedoso motor para la visualización 3D, que nos permite interactuar con los elementos con una percepción hiperrealista tanto en esculturas como en monumentos. El formato es aplicable a: Web, pantallas interactivas, móviles, tablets, apps, realidad aumentada, etc..., y en futuras plataformas en desarrollo, como holodisplays, televisión 3D auto estereoscópica, visión artificial, etc.*

*El resultado final son modelos hiperrealistas con una calidad fotográfica excelente, en los que se engloba también las técnicas de iluminación más avanzadas (modelos de iluminación, de sombreado, de detalles de superficie, transparencias, reflexiones, etc.) con una apariencia física similar al original.*

**Palabras Clave:** MODELOS BASADOS EN IMAGEN, ILUMINACION, VISOR 3D HIPERREALISTA, INTERACTIVO

---

#### **Abstract**

*The New developments in 3D data registration and post processing have enabled us to obtain models whose final design means a qualitative step in order to reach a much more realistic viewing of them for both cases: sculptures and architectural monuments.*

*Uniting 3D scanning technologies, photogrammetry, texture mapping, 3D imaging software tools and interactive content, we found novel and higher levels of quality in the images. Thanks to the new software display - with these images made in Unity - a new field emerges which find applications in improved interactivity, cellular phones, tablets, augmented reality and related technologies, as well as in the development of future platforms such as holodisplays, auto stereoscopic 3D television computer vision, etc.*

*In this way it provides an excellent tool for heritage but a valuable working tool for professionals too.*

**Key words:** IMAGE BASED MODELLING, LIGHTING, HYPER REALISTIC 3D VIEWER, INTERACTIVITY.

---

## 1. LA CATEDRAL DE OVIEDO

El rey Alfonso II el Casto, al trasladar la capital del Reino de Asturias a Oviedo, mandó edificar un conjunto catedralicio en los mismos terrenos de la antigua iglesia de San Salvador. La catedral tal y como la conocemos, comenzó a edificarse a finales del siglo XIII, su construcción se prolongó durante tres siglos hasta la finalización de la única torre a mediados del siglo XVI. Posteriormente se añadiría una girola en el siglo XVII además de diversas capillas anexas a las naves laterales. Tal era la importancia de esta catedral en el nacimiento del movimiento de las peregrinaciones a Santiago de Compostela que se hizo famosa la muy conocida y repetida letrilla francesa que advierte a los peregrinos que quien va a Santiago y no al Salvador, hace una visita al criado y pasa de largo ante la casa del Señor.



*Fig. 1 Catedral de Oviedo.*

## 2. LA CÁMARA SANTA Y SUS TESOROS

La Cámara Santa de Oviedo, se remonta al siglo IX, durante el reinado de Alfonso II el Casto, siendo uno de los monumentos emblemáticos del Arte Prerrománico asturiano. Declarado Patrimonio Mundial de la Humanidad, la planta superior, dedicada a San Miguel, consta de una nave y un ábside de seis dobles columnas que vemos rodeando los muros de la capilla y que también fueron añadidas en el siglo XII. Los capiteles figurados de estas columnas, con representaciones de los Apóstoles, se han relacionado con el del Maestro Mateo de Santiago de Compostela o con el del Maestro de San Vicente de Ávila. En

su interior se puede admirar uno de los conjuntos de orfebrería más significativos que se conservan de la Alta Edad Media, que incluye piezas tan importantes como la Cruz de Los Ángeles (808), la Cruz de la Victoria (908), o la Caja de las Ágatas, regalada a la Catedral por Fruela II en 910.

Otro de los tesoros más emblemáticos que guarda esta Cámara Santa es el Arca Santa. El Arca data de la segunda mitad del siglo XI, de época de Alfonso VI (1075), aunque otras propuestas la situarían cerca de 1120.

La leyenda sobre los orígenes del Arca Santa de Oviedo cuenta que proviene de una antigua arca o caja de madera de cedro que contenía, en Jerusalén reliquias de Jesús y de María. Con la invasión de los persas en el 614, los cristianos de Palestina pusieron a salvo el Arca Santa, con el Santo Sudario y otras reliquias, enviándola a Alejandría, para que finalmente el Arca, llegara hasta España entrando por Cartagena, y posteriormente a Sevilla, para terminar en Toledo, de donde con la invasión Musulmana del 711 se ve empujada hasta el norte de la España cristiana. Ya en el siglo XII, la reina Doña Urraca ordenó que se recubriese de plata.

La importancia y fama de estas reliquias llega a ser tal durante la Edad Media que los peregrinos se desviaban del Camino francés a Compostela para acercarse a Oviedo a venerar el Arca Santa de las reliquias



*Fig. 2 Inscrito en un rectángulo azul, la situación de la Cámara Santa*

### 3. LA FUNDACIÓN ITMA Y EL PATRIMONIO CULTURAL

Fundación ITMA (Instituto Tecnológico de Materiales), investiga y aplica tecnologías en el campo del patrimonio en dos principales líneas de actuación: la difusión y la conservación del patrimonio.

Para el mantenimiento en buen estado de nuestro patrimonio, la difusión del mismo cumple una importante labor, ya que permite dar a conocer la obra, aportando información sobre ella y de esta manera captar el interés del futuro visitante o turista cultural.

Al mismo tiempo, las técnicas utilizadas como elemento de difusión, pueden ser también utilizadas como herramientas de trabajo, en los departamentos de conservación y restauración.

Entre las tecnologías que utilizamos podemos destacar algunas como: VRI 360, fotografía HD, holografía analógica y digital, escaneado 3D y modelos 3D hiperrealistas, basados tanto en escáner como en tomas fotográficas.

Trabajos como los realizados en el Museo Arqueológico Nacional (MAN), con el proyecto ImaginArte, donde por primera vez en España se realizaron distintas tecnologías en algunas de las piezas más emblemáticas de este museo.



*Fig. 3 Toma de datos mediante escáner de luz blanca estructurada en el MAN.*

Viajes virtuales 360°, de distintos monumentos emblemáticos de nuestro país y piezas de arte de museos para la Web [www.españaesultura.es](http://www.españaesultura.es), cuevas realizadas mediante escáner, escaneado de petroglifos y

piezas íberas por distintos museos de España o las tomas también en esta técnica de la emblemática obra del Guernica, donde sus 32 m<sup>2</sup>, se escanearon con una resolución de 65 micras, son algunos de los trabajos que nuestro grupo viene realizando



*Fig. 4 Escaneado 3D del Guernica de Picasso en el MCARS.*

### 4. ESTUDIOS Y PROTOCOLOS DE TRABAJO DESARROLLADOS

Durante años anteriores se estuvieron realizando pruebas y desarrollando nuevos protocolos, para la obtención de modelos 3D que contasen con la mejor calidad de acabado fotográfico.

En estos trabajos, primaba sobre todo la calidad de la geometría alcanzada, dejando en un segundo lugar su acabado fotorrealístico. Durante este período los modelos digitales tridimensionales obtenidos, de piezas escultóricas principalmente, solo contaban con una geometría muy elaborada y de alta resolución (entre unas 25 a 400 micras, según el tamaño y morfología de la pieza) pues era lo que se pretendía obtener a la mejor calidad y exactitud posible. El acabado fotográfico en color, quedaba en un segundo plano, y este se obtenía de las propias cámaras de video de los escáneres 3D sin contacto utilizados, en algunos casos, y en otros, a través de una cámara réflex premontada sobre el propio equipo y preparada para tal fin.

El resultado final era un modelo 3D de geometría muy exacta, donde el acabado del modelo se obtenía de la asignación de un color sobre cada punto de la nube de puntos del modelo. Una vez mallada esta nube de puntos, cada polígono generado contaba con una textura final resultado del degradado del color existente en cada uno de los puntos que forman el polígono. El resultado final es lo que se conoce como “modelo 3D con información de color”.



*Fig. 5 Modelo 3D de la Dama de Baza (MAN) con información de color.*

Muchos de los problemas que se generaban por entonces eran que la unión de esos puntos daba un resultado final con distintos matices de color no existentes en la pieza original, según la información del color en ese punto pertenecía a una captura de foto de las cámaras desde una situación concreta o desde alguna de las otras. Es decir, había zonas de polígonos de la malla final cuya textura era el resultado de una captura realizada en una zona más iluminada por la situación de donde se capturó la imagen, y en los polígonos adyacentes pertenecía a otra u otras capturas donde en esa situación la pieza estaba menos iluminada en la misma zona que en la de la otra captura fotográfica.

Estos errores se fueron subsanando mediante el control de distintos parámetros que influyen en ese resultado, tanto en la captura como en el procesado, como son la iluminación directa e indirecta que incide en la pieza a modelar, los desenfoques en ciertas partes de la imagen capturada de la pieza, etc.



*Fig. 6 Detalle de una misma pieza sin y con control de la iluminación.*

Ahora bien, estos modelos tridimensionales obtenidos, cuentan con un hándicap importante, que es que según la calidad que se desee obtener tanto de geometría como de acabado en color, necesitan de una malla poligonal muy alta, lo que repercute en tener que contar con software y hardware especiales para su visualización correcta, capaz de comprender los datos y mover esas piezas. Equipos estos, no aptos para la mayoría de los usuarios. Una solución es reducir el número de polígonos, pero eso conlleva también reducción importante de puntos y por tanto de información de color. La otra solución prevista, fue convertir la información de color en textura y posteriormente reducir la malla poligonal, hasta un correcto equilibrio entre geometría, peso del archivo y textura.

La experiencia en multitud de trabajos realizados para Patrimonio Cultural, tanto de piezas de arte (esculturas, cuadros, etc.), como de espacios (cuevas, abrigos, edificios, etc.), es que el cliente final, desea tener además de los datos de seguridad, estudio y gran precisión que le pueda ofrecer técnicas de escaneado en 3D y de fotogrametría, una herramienta en la que visualizar los resultados en acabado similar al original. Les parece muy bien que les mostremos la infinita nube de puntos de la pieza o espacio, y el video... pero lo que desean además es tener ese modelo 3D lo más real posible, y que ellos lo puedan ver y manejar desde sus ordenadores de uso doméstico.

El primer paso para lograr estas exigencias que demandaban los clientes, fue el conseguir una serie de visores de software que permitiesen

observar e interactuar con el modelo generado, a través del ordenador y en Internet. El problema que generaba este tipo de visores, era que para que fuesen ágiles en la visualización de las piezas, necesitaban que el modelo 3D mostrado no contase con un archivo muy pesado en datos, lo que repercutía, entonces en tener que reducir la calidad del modelo para una visualización adecuada.

Por otro lado, la información de color que presentaban los modelos 3D no llegaba a tener la calidad de una fotografía, siendo mucho más atractiva la visualización de una pieza escultórica a través de un visor VRL convencional, el cual basado en una secuencia de fotografías en 360 grados puede disponer de uno o más puntos (nodos) de visión.

Dada estas demandas y lagunas existentes en los productos entregados a los Museos, etc., los estudios se basaron inicialmente en la obtención además de otros modelos 3D con calidad fotográfica, cuyo peso en datos fuese el menor posible para que se pudiese observar en cualquier tipo de ordenador doméstico de última generación y en Internet a través de una página Web. Esto se logró inicialmente mediante softwares especializados de pegado de texturas fotográficas en modelos 3D, y más tarde en softwares de modelado basado en imágenes. En todos ellos la calidad de la malla geométrica no tiene nada que ver con la obtenida mediante los escáneres, pero si suficiente para ser visualizado el modelo 3D con calidad fotográfica correctamente, que es lo que demandaban además los Museos y como medio de divulgación.

Los últimos estudios realizados que se han llevado a cabo es en mejorar la calidad fotográfica de las imágenes, tanto en su captura como en su post procesamiento, así como en la iluminación adecuada según el tipo de pieza escultórica, contando con parámetros como morfología de la pieza, policromía, material de la pieza, etc. Todo ello con el fin de buscar el mejor resultado final.

La captura de fotografías se basa en obtener la mayor calidad con el mayor número de pixel

posibles, utilizando equipos con un mínimo de 21 megapixels y en algunos casos de más de 45 megapixels, y con unas ópticas de gran calidad, según el tipo de pieza de la que se quiere obtener el modelo 3D fotorrealístico.

En el caso de la iluminación es muy importante tener en cuenta la escena, ya que la intensidad de luz que se puede observar en cada trozo o superficie de la pieza a fotografiar depende del tipo de luces situadas a su alrededor y que directa (fuentes de luz emisoras) o indirectamente (fuentes de luz reflexoras) inciden en ella. Además hay que contar que partes de esa pieza o toda ella puede contar con materiales opacos, brillantes, claros, oscuros, traslúcidos en mayor o menor medida, etc.



*Fig. 7 Modelo 3D con calidad fotográfica de pieza de arte ibero.*

Actualmente nuestros nuevos desarrollos, estudios y trabajos tratan de alcanzar un paso más hacia una calidad hiperrealística, donde se conjugan una iluminación lo más real posible buscando las propiedades físicas de la iluminación.



*Fig. 8 Modelo 3D al que se le ha aplicado las propiedades físicas de la iluminación.*

E incluso mapear y reflejar las propiedades físicas visuales de la pieza sobre un modelo 3D que cuenta ya con una malla poligonal geométrica de alta resolución de décimas y centésimas de milímetros con la calidad hiperrealística, y que es visible en visores 3D tanto, en ordenadores domésticos, como en tablets, smartphones, pantallas interactivas multitouch, sistemas pseudoholográficos, realidad aumentada, etc.

## 5. PROYECTO “CATEDRAL DE OVIEDO”

La visita a la Catedral de Oviedo, cuenta como parte fundamental en su recorrido turístico con La Cámara Santa, donde se alojan las Joyas y Reliquias más importantes de la religión cristiana. Estas piezas pueden ser observadas a través de una verja que divide la sala en dos partes, con el inconveniente de que solo se pueden observar por una de sus caras, dentro de unas urnas y a una distancia de seguridad, lo que conlleva una visión parcial de estas Joyas de gran interés cultural e histórico.

En este proyecto se buscó establecer un conocimiento más detallado de las piezas de culto, así como de la arquitectura de la propia Cámara Santa, que cuenta con 6 columnas escultóricas en las que está representado el apostolado, más otro conjunto de tres bustos que representa El Calvario. Todas ellas de un gran valor cultural y religioso, y que han sido restauradas recientemente.

Para ello en el hall de entrada a la Cámara Santa, se propuso la incorporación de tres pantallas multitáctiles de 55 pulgadas en las que dar a conocer con todo detalle e información suficiente, lo que se observará dentro, mientras los visitantes esperan su turno, de acceso a la propia Sala.

Una de las pantallas multitouch, muestra las Joyas, otra el Santo Sudario y las Reliquias, y la tercera, muestra una visita virtual desde el hall donde están las pantallas interactivas, el acceso a la Antesala y de ahí a La Cámara Santa, donde ya en su interior se puede observar en todo

detalle cada una de las columnas escultóricas que forman el Apostolado y el conjunto de El Calvario.

## 6. LAS JOYAS DE LA CÁMARA SANTA

Las principales joyas de La Cámara Santa de las que se capturó datos y se realizó el modelo 3D hiperrealista, así como su implementación en el Visor 3D fueron: el Arca Santa, la Cruz de la Victoria, la Cruz de los Ángeles, la Caja de las Ágatas y el Cristo de Nicodemus. Todas ellas piezas de orfebrería realizadas en oro, plata y algunas de ellas con pedrería tallada.

Sus materiales, todos ellos muy brillantes, obligaron a un estudio preliminar de las distintas iluminaciones emisoras y reflexoras a llevar a cabo, y teniendo en cuenta el espacio previsto por el Catedralicio donde realizar el trabajo de captura de datos y el tiempo con el que se contaba por pieza, pues estas debían estar expuestas para turistas y feligreses.



*Fig. 9 Foto de la sala, cedida por la Catedral, para la captura de datos 3D.*

También se optó por utilizar como toma de datos, una cámara Phase One con un respaldo digital P+ de más de 45 megapixels, y un sistema automatizado de captura de fotos cada pocos grados de movimiento de cámara.

Posteriormente se realizó un post procesado de las fotografías tomadas, selección y modelado digital 3D con un acabado fotorrealístico. Después se procedió a su implementación en el Visor 3D.

En primer lugar se procesaron los modelos 3D para generar versiones adecuadas para su tratamiento en tiempo real. A continuación se

procesaron los materiales fotográficos para extraer los diferentes mapas de textura, los cuales definen el acabado de cada pieza. Por último, una vez obtenido el resultado visual correcto, se combinaron todas las piezas en la aplicación interactiva para su visualización y manipulación en tiempo real.

## 7. SANTO SUDARIO Y RELIQUIAS

El Santo Sudario de Oviedo, se trata de una tela de lino de 83 x 53 centímetros. Se cuenta que fue la prenda que cubrió la cabeza de Jesús, según la tradición Judía y que este fue el paño que encontraron ya en la tumba junto a la Sabana Santa de Turín los apóstoles Pedro y Juan.

Siendo una de las reliquias que llegaron a la catedral en el Arca Santa, fue sometida a distintos estudios intentando averiguar su autenticidad. Giulio Ricci, Mark Guscini y el Dr. John Jackson director del equipo STURP americano, quienes realizaron uno de los estudios más exhaustivos sobre la Sindone de Turín, concluyen que las manchas de la Sindone y el Sudario son susceptibles de comparación, ya que coinciden en su tipología, tanto las del rostro como de la nuca. En los dos lienzos el grupo sanguíneo es AB, por otro lado nada frecuente.



Fig. 10 El Santo Sudario de Cristo.

Sin duda independientemente de la creencia, verosimilitud o autenticidad de esta pieza, la realización de este trabajo representó un desafío en cuanto a la representación gráfica del mismo, ya que la pretensión del equipo no ha

sido otra que crear una herramienta que muestre lo más fielmente posible y con gran detalle lo que es el Santo Sudario.

El principal problema para la representación en el Visor 3D proviene de la enorme resolución de la imagen del Sudario. Tal tamaño es necesario para poder mostrar todos los detalles a pequeña escala. Muchas herramientas habituales de proceso de imagen tienen serias dificultades para abrir y manipular imágenes tan pesadas, cuando no son meramente incapaces de abrir el fichero.

Para poder mostrar y manipular el Santo Sudario, la imagen original fue cortada en 35 imágenes más pequeñas mediante herramientas altamente especializadas. Estas imágenes se organizaron en un mosaico recomponiendo la imagen original en una estructura manejable, pero preservando toda la resolución con todos los detalles. Entonces se implementó en el Visor 3D el procedimiento adecuado para la libre manipulación del mosaico usando gestos táctiles de movimiento y zoom.

## 8. CÁMARA SANTA. VISITA VIRTUAL

La arquitectura interior de este edificio del prerrománico; Patrimonio de La Humanidad, fue la última de las intervenciones llevadas a cabo en el proyecto. Una vez restaurada, se llevó a cabo un protocolo de trabajo, en el que se estudió cual debía ser el tipo de iluminación ideal para la captura de datos.

Como la visita virtual programada debía ser desde la estancia de espera de acceso a la Cámara Santa (Hall) pasando por una antesala previa ya a la Cámara Santa, se llegó a la conclusión que lo mejor para que el resultado final fuese fiel al original era respetar las nuevas iluminaciones de led existentes en las distintas salas del recorrido, siendo estas las únicas fuentes de luz, junto con un flash, colocado únicamente como apoyo y para eliminar posibles sombras de elementos indirectos utilizados, como andamios de los equipos de restauración que todavía estaban presentes en la Cámara Santa.

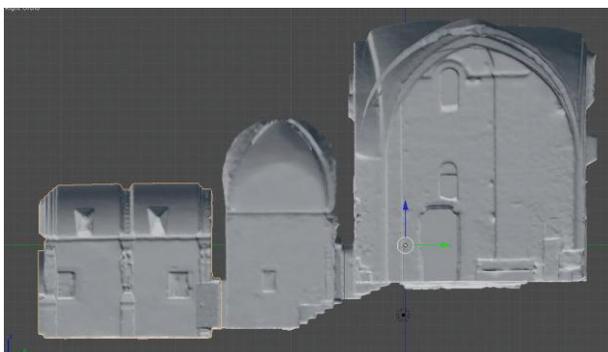
El mismo protocolo de iluminación se llevó a cabo para la captura de datos de las columnas escultóricas del Apostolado y El Calvario, donde en este caso los andamios del equipo de restauración fueron de gran ayuda, por la altura de estas columnas.

Para la captura de datos, se utilizó una cámara réflex Nikon D800 con focales de 35 mm y 24 mm, y como apoyo a la iluminación un equipo de flash para reducir posibles sombras existentes.



*Fig. 11 Captura de datos de una de las columnas escultóricas del Apostolado.*

Para la representación de la Cámara Santa en el Visor 3D en primer lugar se recreó toda la escena en 3D a partir de los datos obtenidos fotográficamente. Para optimizar el uso de recursos se dividió la escena en tres zonas lógicas: vestíbulo, antesala, y Cámara Santa, cada una con su malla y mapas de textura independientes.



*Fig. 12 Sección de las tres salas de la Visita Virtual 3D a la Cámara Santa.*

La visita virtual permite al usuario moverse entre las tres zonas siguiendo un camino prefijado con las opciones de avanzar, retroceder, y mirar alrededor.

La densidad de la malla de la escena permite apreciar la mayoría de detalles generales del lugar. Sin embargo, las piezas artísticas emblemáticas como el Apostolado o el Calvario han sido recreadas por separado para capturar todos sus detalles. De esta forma, el visitante puede recorrer la escena siguiendo el camino marcado por la visita virtual, apreciando los detalles generales en su localización original. Al llegar a las piezas emblemáticas, el visitante puede seleccionar cada una para observarla por separado. La pieza se muestra entonces en un visor similar al de las Joyas de la Cámara Santa, lo que permite al usuario apreciar todos sus matices en detalle.



*Fig. 13 Modelo 3D hiperrealista de una de las columnas del Apostolado.*