

CATEDRAL VIRTUAL DE TUY. APLICACIÓN DE FOTOGRAFÍA INMERSIVA A LA DESCRIPCIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DEL PATRIMONIO.

Luis Hernández
lhi@udc.es

Javier Taibo
jtaibo@udc.es

Antonio Seoane
ynot@udc.es

Rocío López.
rocio@videalab.udc.es

VideaLAB –
Grupo de Visualización en Ingeniería Civil, Arquitectura y Urbanismo
ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
Universidad de La Coruña

Resumen

Dentro el Plan Director del Conjunto Catedralicio de Tuy, se están desarrollando trabajos de aplicación de las nuevas tecnologías con el fin de obtener un instrumento de estudio e investigación que permita la observación del espacio arquitectónico mediante la consulta de contenidos digitales.

Ello constituye el proyecto “Catedral Virtual de Tuy”, que consta de una maqueta digital tridimensional, aún en realización, y un sistema de visita basado en fotografías panorámicas esféricas, que permiten desde un punto dado, contemplar el interior y exterior del templo en cualquier dirección mediante el movimiento del ratón en la aplicación informática; dichas imágenes están hiperenlazadas de manera que es posible pasar de un espacio a otro recorriendo así el conjunto catedralicio. Es posible, asimismo, realizar un tratamiento digital específico sobre tales imágenes a fin de obtener un entorno inmersivo del templo que muestre el aspecto que tendría de no haberse llevado a cabo importantes obras de restauración que modificaron el espacio original.

Introducción

Desde el año 1997, y en virtud de un convenio suscrito entre la Dirección General de Patrimonio de la Xunta de Galicia y la Fundación Caja de Madrid, se está redactando el Plan Director del Conjunto Catedralicio de Tuy (en adelante CCT). En dicho conjunto se engloban, tanto el templo mismo como los edificios y espacios anexos (claustro, palacio episcopal, jardines, archivo, etc.) y en su caso, los espacios urbanos adyacentes. La redacción del Plan ha sido llevada a cabo por el arquitecto Iago Seara Morales

Un plan director constituye un documento complejo que aborda múltiples aspectos relativos al estudio, conservación y difusión del patrimonio. Por una parte, lleva a cabo los análisis y estudios pendientes o procedentes, tanto de tipo histórico, encaminados a obtener un conocimiento mayor del conjunto: arqueológicos, litúrgicos, arquitectónicos, etc.; como de tipo técnico, enmarcados en el ámbito de la restauración, la rehabilitación y el mantenimiento: estudios estructurales, constructivos, geotécnicos, luminotécnicos, etc.

Por otra parte, un plan de este tipo debe plantear los problemas inmediatos, de índole técnica, cuantificar sus soluciones y ordenar las intervenciones correspondientes a fin de garantizar la estabilidad y buena conservación del conjunto histórico.

Finalmente, el Plan Director debe servir para la puesta en valor del objeto de patrimonio, facilitando la difusión del mismo a fin de recabar hacia él la atención que merece a través de los diferentes medios y canales de información.

A tenor de lo dicho, puede verse que la redacción de un documento de tal envergadura conlleva la intervención de un número elevado de profesionales de muy diferentes disciplinas, y que suelen con frecuencia estar ubicados en diferentes emplazamientos geográficos, alejados del objeto de estudio. Por otra parte, se hace patente la idoneidad de una herramienta que permita observar de forma inmediata cualquier punto del objeto de estudio sin la necesidad de trasladarse físicamente hasta él.

Todo ello se traduce en la necesidad de contar con un Se busca conseguir una maqueta que trascienda el modelo físico, una maqueta que en el futuro será histórica y que hoy es contemporánea, eludiendo las limitaciones que un modelo físico presenta a la hora de la investigación, el conocimiento, la conservación y la difusión.

La idea es lograr un instrumento que permitiese el estudio e investigación a distancia, en cuanto a que un investigador ubicado geográficamente lejos del C.C.T. pudiese acceder con facilidad a estos contenidos, bien a través de un soporte informático, bien a través de Internet, sin omitir la necesidad de la presencia física en el Conjunto para un estudio, conservación o investigación rigurosos, y teniendo en cuenta que este sistema permitiría acceder “virtualmente” a zonas y lugares a los que no es posible, o es difícil y costoso, acceder físicamente (pudiendo suplir incluso la colocación de andamios).

Asimismo, los contenidos generados a través de este trabajo, serían objeto de la difusión de la forma en que los organismos patrocinadores considerasen convenientes, teniendo en cuenta que desde el comienzo de los trabajos, se consideraría esta circunstancia, y se facilitaría la traducción de los contenidos generados a los formatos digitales más difundidos.

Antecedentes. Imágenes panorámicas para la difusión del patrimonio

El uso de imágenes panorámicas como modo de mostrar un entorno espacial mediante un ordenador ha sido común tras la popularización, a mediados de la década de los 90, de productos comerciales como el QuickTime VR[1]. Desde entonces, han sido numerosísimos los productos multimedia y las páginas en Internet que hacen uso de la navegación a través de panoramas hiperenlazados. En ese sentido, este formato de imagen se mostró como muy aplicable para el proyecto de la Catedral Virtual, sin embargo, los productos comerciales existentes en el mercado adolecen de problemas que los invalidan para el uso técnico requerido en este proyecto. Por una parte, el estándar *de facto* antes mencionado presenta unos requerimientos de proceso

excesivamente elevados para las altas resoluciones requeridas en esta aplicación que redundan en la fluidez del movimiento, que se muestra excesivamente lento.

Por otra parte, hasta ahora esta tecnología solo permitía mostrar panoramas cilíndricos, donde el espectador podía mirar en derredor, pero no hacia arriba o hacia abajo, mas allá de cierto ángulo. En su última versiones, estos programas comerciales permiten el uso de panoramas cúbicos, pero con una calidad de imagen que dista también de la requerida por la baja calidad del filtrado que utilizan.

Obviando estos inconvenientes, es decir, para resoluciones bajas de presentación y unos requerimientos de calidad no demasiado exigentes, los sistemas comerciales son perfectamente adecuados para la difusión hacia el público genérico, pero no para el caso que nos ocupa. Aquí, la exigencia de contar con imágenes panorámicas cúbicas de muy alta resolución (6 imágenes de 2048x2048 pixeles compuestas formando cada panorama), válidas para ser mostradas con niveles de zoom aceptables, y con un movimiento completamente fluido hizo necesario utilizar una tecnología diferente, basada en la utilización del *hardware* gráfico del computador como motor de cálculo, en lugar del procesador principal como hacen los sistemas comerciales antes citados; es decir, se hacía necesaria la implementación de una tecnología que hiciese uso de la aceleración gráfica 3D de las tarjetas gráficas actuales para mostrar panoramas cúbicos como la desarrollada por los autores en trabajos previos como el VideVR [2].

El hecho de contar con un código fuente de visualización de panoramas propio hizo también mucho más sencillo el desarrollo de una aplicación específica para este proyecto.

Contenidos del sistema. Interfaz y navegación

Dado que la aplicación informática a desarrollar debería funcionar como una herramienta de consulta de los aspectos espaciales y visuales del Conjunto Catedralicio, debería contar con la posibilidad de conjugar dos tipos de información gráfica diferente: planimétrica y fotográfica panorámica, sirviendo la una como apoyo de la otra, a fin de que el usuario recibiese información métrica y visual de manera lo más compenetrada posible.

Por tanto, la navegación dentro de la aplicación se dividió en dos modos diferenciados aunque relacionados que permitieron mostrar ambos tipos de información: *planos* y *panoramas*.

El modo *planos* que muestra la figura 1, permite la visualización de diferentes tipos de información planimétrica. La selección del plano a representar se puede realizar mediante menús o marcando sobre las miniaturas de los dibujos correspondientes.

El modo *panoramas*, permite la visualización de las imágenes de ese tipo. Durante la visualización de un panorama se puede modificar la dirección de visión del usuario, también denominada *cámara*, mediante el ratón. Los panoramas se encuentran relacionados entre sí mediante conexiones denominadas *enlaces*. Los enlaces se activan según la orientación de la cámara y permiten desplazarse entre panoramas, de forma que cuando se activa un enlace dentro del panorama que se está visualizando aparece una

aviso en forma de flecha junto con el destino de dicho enlace. En ese momento, en caso de pulsar con el ratón sobre la flecha se realizaría una transición entre ambos panoramas. Otra forma de selección del punto de vista a mostrar consiste en seleccionarlo de entre los disponibles para cada uno de los *niveles* (nivel de acceso, triforios, cubiertas) mostrados en los planos al efecto. En cada nivel se puede seleccionar un panorama bien por su nombre o bien haciendo pulsando sobre su situación.

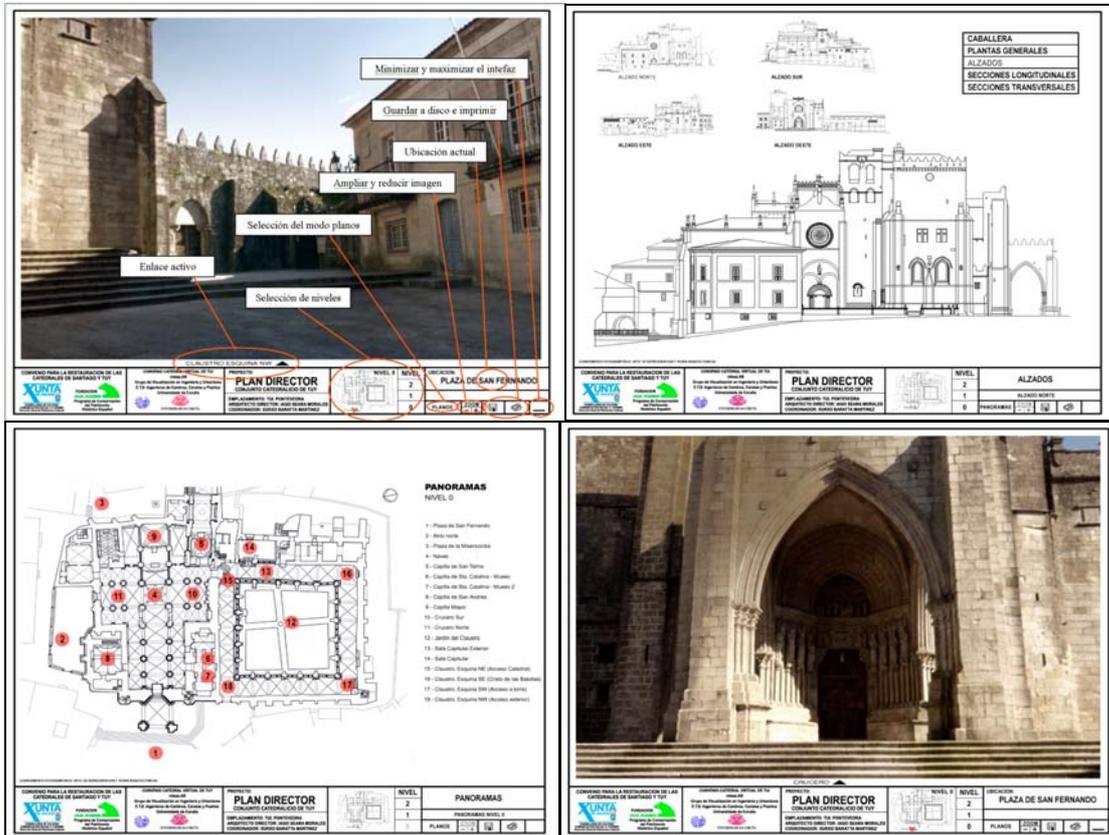


Fig. 1 Capturas de pantalla de la aplicación. Arriba: Descripción del interfaz y modo planos. Abajo: Modo panoramas; ubicación y resultado.

Dentro del modo *panoramas* se muestran también algunas imágenes en las que se realizaron modificaciones para eliminar algunos elementos arquitectónicos que no se incluían en el diseño original de la catedral y que se explicarán más adelante. Dentro del interfaz se incluye una opción de conmutar entre dichas imágenes para tanto la versión original como la modificada para cualquier dirección de visión, permitiendo así contemplar el espacio catedralicio en su estado original, como aparece reflejado en las imágenes de la figura 5

El funcionamiento del interfaz de navegación se completa con otras opciones como la posibilidad de hacer zoom para ampliar y reducir la imagen en una dirección de visión cualquiera, posibilidad de grabar lo que se está viendo en una imagen en disco o imprimirlo en la impresora conectada al ordenador. Éstas últimas opciones convierten así la aplicación en una herramienta ideal para generar imágenes digitales y documentos de trabajo impresos de aquellos elementos constructivos, o zonas de la catedral en las que se esté trabajando en un momento dado.

El interfaz mismo está organizado como un plano constructivo, de manera que tanto la aplicación como los documentos impresos por ella se integran perfectamente dentro de la documentación gráfica del Plan Director.

La aplicación. Aspectos técnicos

Como se ha dicho, la aplicación debería ser capaz de visualizar entornos mediante imágenes panorámicas de 360° en cualquier dirección del espacio, estando destinado a ser utilizado desde un ordenador personal sin más prestaciones que las presentes en los equipos de gama media a la venta. Partiendo de esta idea se eligió la familia de sistemas operativos *Windows*® como plataforma de desarrollo al ser los más usados y extendidos entre los ordenadores personales. Para implementar las necesidades gráficas de la aplicación se seleccionó la librería software *OpenGL*® [3] debido a que se trata de la librería gráfica de alto rendimiento más extendida y usada en diferentes y variados campos de aplicación como simulación, visualización científica, videojuegos, etc. Esta librería, además, se encuentra disponible para un gran número de sistemas operativos (*Windows 9x/Me/NT/2000/XP*, *IRIX*, *Linux*, *Solaris*, *BeOS*, etc.), lo que asegura la portabilidad de la aplicación en el caso de que hubiese que realizar una versión para alguno de dichos sistemas.

Para la visualización de imágenes panorámicas se utilizan habitualmente tres tipos de proyecciones: cilíndrica, esférica y cúbica. En una proyección cilíndrica no se dispone de suficiente información para cubrir 360° en vertical, limitando dicho movimiento a unos pocos grados de libertad, por lo que esta opción no era válida. De la misma forma, aunque una proyección esférica permite una visualización de 360° en vertical y horizontal, no cubría los objetivos de calidad requeridos por la aplicación, debido a que la cantidad de información disponible en las imágenes esféricas es muy inferior en los polos de la esfera que en el ecuador de la misma debido al tipo de proyección. Se optó por una representación cúbica de los panoramas, que permite visualizar panoramas completos y la resolución es más uniforme que en el caso de una proyección esférica.

Para realizar la generación de cada imagen que el usuario visualiza cuando mueve el punto de vista del panorama se puede pensar en cargar dicho trabajo de generación al procesador central de la máquina, que es el método usado por *QTVR*. Este proceso de generación de imágenes consiste en aplicar una proyección (cilíndrica, esférica o cúbica) sobre cada uno de los puntos del panorama, pero requiere un gran esfuerzo computacional.



Fig.2 Vista del panorama cúbico y resultado mostrado al espectador

Sin embargo, la estado tecnológico actual de los ordenadores personales muestra que prácticamente la totalidad de los equipos vendidos incluyen un dispositivo gráfico

que soporta aceleración 3D, o lo que es lo mismo, permite generar imágenes tridimensionales de mayor calidad y en menor tiempo que el procesador central. Partiendo de dicha idea, la aplicación se desarrolló aprovechando las posibilidades de dichos dispositivos gráficos.

La visualización de los panoramas se realiza mediante la rotación de una cámara situada en el interior de un cubo en función del punto de vista del espectador, donde sobre la parte interior de cada cara del cubo se aplica una imagen del panorama cúbico como se muestra en la figura 2. La generación de cada imagen o fotograma que ve el espectador lo realiza el dispositivo gráfico del ordenador. El resultado es que se aprovechan las capacidades 3D del ordenador para generar imágenes de gran calidad, a partir de imágenes de muy alta resolución con mínimo esfuerzo por parte del procesador.

En la aplicación se utilizaron dos versiones de panoramas cúbicos con diferentes resoluciones: 6x1024x1024 píxeles y 32 bits por pixel de color, una por cada cara del cubo (24Mb por panorama) y otra versión con 2048x2048 píxeles y 32bpp por cara (96Mb por panorama). En el segundo caso, los requerimientos del sistema gráfico del ordenador son extremadamente elevados, ya que el panorama se almacena en la memoria del dispositivo gráfico y en el momento en el que se empezó el desarrollo de la aplicación no había ningún ordenador personal con más de 64Mb de memoria gráfica. Para poder utilizar dicha resolución se utilizó una característica soportada por algunos sistemas gráficos, la compresión de texturas. Dicha característica permitió reducir el espacio necesario para almacenar cada panorama con una compresión 3:1 (mediante el método *S3TC*), pasando a ocupar de 96Mb a 32Mb de memoria gráfica. Aunque la compresión de textura no está soportada por todos los sistemas gráficos, en aquellos en los que sí lo esté podrán visualizar los panoramas con una mayor calidad. La aplicación final incluía dos versiones de los panoramas, una destinada a todos los ordenadores personales y otra con mayor resolución en los panoramas para aquellos equipos que, por contar con una tarjeta gráfica de mayores prestaciones, soportaran compresión de texturas.

Realización de los panoramas cúbicos. Tratamiento de imágenes

El proceso de generación de las seis imágenes que contiene un panorama cúbico parte del montaje o *cosido* de un número de fotografías elevado, tomado de forma que queden cubiertas todas las direcciones del espacio, para ello se tomaron cinco series de doce fotografías cada una girando la cámara en el plano horizontal 360° para diferentes ángulos de inclinación vertical, más dos fotografías más para el cenit y el nadir, es decir, la información del panorama completo requiere un total de 62 fotografías

Estas fotografías deben concatenarse tras corregir la deformación perspectiva de cada una de ellas, de manera que enlace con la siguiente, ubicándolas en torno a una esfera imaginaria que rodearía al espectador, que posteriormente se proyecta sobre un cubo, de manera que pueden ser separadas las imágenes que componen cada uno de sus seis lados, representadas en la figura 3.

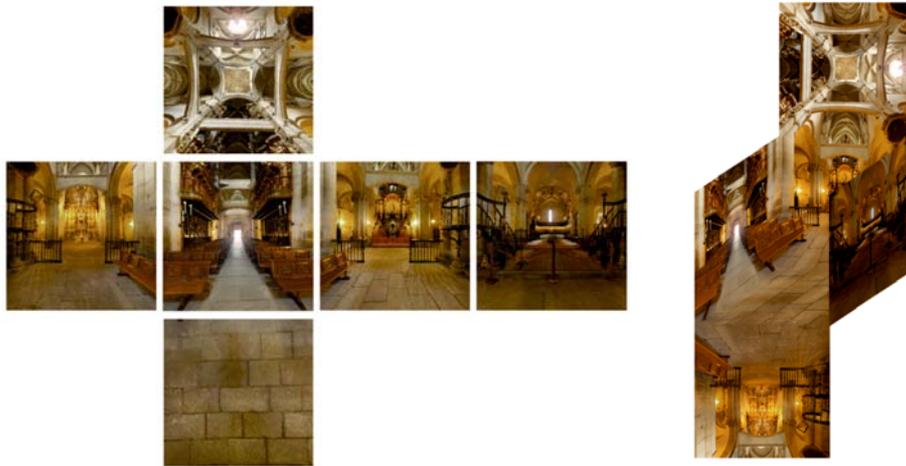


Fig. 3. Fotografías originales (arriba) y cubo formado por las 6 imágenes resultantes del proceso en el PT Stitcher

La realización de este proceso es fundamentalmente apoyada por el uso de programas comerciales diseñados al efecto, tales como *PT Stitcher*, que, aunque realizan un buen trabajo en el montaje de panoramas cilíndricos, suelen requerir de proceso de retoque manual, más frecuente en el caso de las panorámicas cilíndricas.

Tratamiento digital genérico: Retoque para corrección de errores

Durante este proceso, se resuelven dos de los problemas que suele plantear este sistema. El primero de ellos, el efecto “doble imagen” aparece frecuentemente cuando se realizan panoramas. Se debe a una falta de ajuste geométrico entre las fotografías a la hora de hacer el solapado entre las mismas en el *PT Stitcher*. En lugar de aparecer superpuestas las dos imágenes correspondientes a un objeto, una o ambas se encuentran desplazadas respecto a su posición correcta produciéndose un fenómeno similar a la visión borrosa. En la figura 4 aparecen dos ejemplos de imagen con este problema, y el resultado una vez tratada.



Fig. 4. Corrección geométrica manual de errores producidos en el montaje con PT Stitcher

Cuando se logra un enfoque adecuado en todas las imágenes se realiza el siguiente paso, el ajuste de color. Debido a los diferentes ángulos a la hora de tomar las fotografías, la luz y por consiguiente el color, cambia mucho de una foto a otra, así como el contraste y la claridad. De una manera bastante intuitiva, se toman unos parámetros uniformes para el conjunto y se les aplican, homogeneizando el resultado.

Tratamiento digital específico. Eliminación de los arcos de entibo

Uno de los aspectos más interesantes de la aplicación, basado en la posibilidad de tratar digitalmente las imágenes de los panoramas, venía dada por la capacidad de mostrar por este medio el aspecto del espacio gótico original de las naves previo al entibo de las mismas mediante arcos al efecto. Para ello se reconstruyeron las imágenes correspondientes al panorama desde el crucero eliminando los arcos y colocando en su lugar imágenes de los elementos situados detrás de ellos. Este proceso, en apariencia sencillo, es harto laborioso y requirió de las siguientes etapas:

- Obtención de imágenes adecuadas de los elementos ocultos: Para reconstruir sobre una imagen plana determinadas partes de la catedral que se encontraban ocultas tras los contrafuertes, se optó por empezar tomando fotos desde un punto de referencia físico coincidente con el de las tomas fotográficas que sirvieron para hacer el panorama, y, avanzando la posición 1m aproximadamente en cada toma, se fotografiaron todas las naves. De esta manera, al cambiar la situación, se obtienen zonas que antes quedaban ocultas debido al ángulo de visión. Con este material puede hacerse una reconstrucción sobre la imagen original encajando las nuevas tomas como un rompecabezas. Además de todo esto, se contó con fotografiar zonas similares para completar determinadas partes que debido a la distorsión, no era posible cubrir de esta manera.
- Corrección de la distorsión de los fragmentos: Básicamente, la dificultad de este trabajo radica en problemas de perspectiva. El punto de vista del panorama es el de una persona situada en el centro del crucero; las zonas superiores más alejadas son relativamente sencillas de reconstruir, pero algunos elementos como la plementería entre los nervios en los que la distorsión es muy apreciable, los grupos de columnas del triforio, el rosetón principal y las claves de las naves laterales fueron las que mayor dificultad plantearon. En general, cuanto más cerca del espectador, mayor era la dificultad y mayor también la cantidad de imagen oculta tras el contrafuerte.

- Recreación de elementos constructivos eliminados en la actuación: Para colocar los contrafuertes, los arquitectos tuvieron que modificar ligeramente la estructura básica de los pilares, añadiendo impostas de donde hacer partir los arcos. El resultado es que para su eliminación no existe información fotográfica de otro lugar del edificio sobre su aspecto antes de la intervención, por lo que hay que reinterpretarla a partir de descripciones no gráficas.
- Tratamiento de elementos únicos: Aquí se agrupan formas como el rosetón principal de la fachada o el órgano, ya que ambos son particulares y por lo tanto no se disponía de otros elementos similares para su reconstrucción. El órgano situado en el lateral de la nave central planteó además varios problemas por estar pegado a los contrafuertes, de manera que se contaba con escasas posibilidades de obtener imágenes del mismo desde diferentes puntos de vista.
- Ajustes de color: Resuelto lo referente a la estructura de la imagen, se pasó a los ajustes de tonos. El interior de la Catedral resulta especialmente complejo ya que además de los distintos tonos de color de la piedra según su procedencia, época, desgaste etc., existen en el templo diferentes entradas de luz natural en un interior iluminado con lámparas artificiales. Por todo ello, esta parte del trabajo resultó ser casi tan laboriosa como la anterior. Se tomó de referente una iluminación media y se fue adecuando hasta lograr un conjunto de valores de contraste, brillo y color que tuvieran un sentido para todos los niveles de luz. A continuación aparecen algunas imágenes representativas de estos procesos.

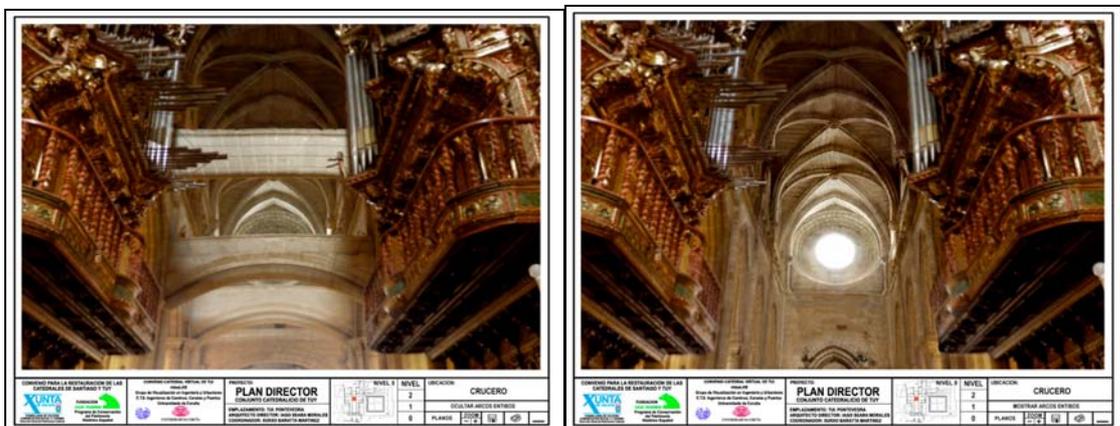


Fig. 5 Vista superior de la nave mayor en su estado actual y la misma vista (derecha) del panorama obtenido tras la eliminación de los arcos de entibo.

Conclusiones

El uso de imágenes panorámicas esféricas se ha mostrado como una herramienta idónea para la descripción técnica de un espacio arquitectónico. La aplicación expuesta en este escrito ha mostrado su validez tras su inclusión como un documento más dentro del Plan Director del Conjunto Catedralicio de Tuy, y ha hecho gala de su eficacia tras su uso intenso en varias sesiones de trabajo entre diferentes técnicos involucrados en el mismo.

La aplicación sirve no solo de guía para el estudio del estado actual sino también para la recreación del espacio en épocas pasadas. Adicionalmente, la aplicación se constituye en si misma como un generador de información, por cuanto permite obtener de ella nuevos documentos de trabajo en forma de imágenes fotográficas comunes de cualquier vista del espacio del edificio o de los objetos incluidos en él hasta un alto grado de detalle.

Bibliografía

1. Chen, S.E. QuickTime VR - An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation. Proceedings of the 22nd annual ACM conference on Computer graphics, 1995, Pages 29-38.
2. VideVR- Un Sistema de Video Inmersivo 360°. L. Hernández, J. Taibo, A.Seoane. Actas del XI Congreso Español de Informática Gráfica. Girona, Julio 2001.
3. Segal, Mark and Kurt Akeley - The OpenGL Graphics System: A Specification (Version 1.2.1). Editor (v1.1): Chris Frazier, Editor (v1.2): Jon Leech. March 1998. <http://www.opengl.org/>