

ACE 13

Electronic offprint

Separata electrónica

NUEVAS FORMAS DE ACCESIBILIDAD A TRAVÉS DE APLICACIONES CON REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA EN EL MUSEO MARÍTIMO DE BARCELONA: PROYECTO PATRAC, SUBPROYECTO 3

ALEJANDRO MARAMBIO CASTILLO *et ál.*

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno [en línea]. 2010, Año 5, núm. 13 Junio. P. 145-160

ISSN: [1886-4805](https://doi.org/10.1080/18864805)

Website access: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n13/Articles_PDF/ACE_13_SE_16.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/9203>

ACE

Architecture, City, and Environment

Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

ACE 13

Electronic offprint

Separata electrónica

NEW WAYS FOR ACCESSIBILITY THROUGH VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY APPLICATIONS IN THE MARITIME MUSEUM OF BARCELONA: PATRAC PROJECT, SUBPROJECT 3

Key words: cultural patrimony, accessibility, laser scanner, virtual and augmented reality.

Abstract

This contribution presents an approach to the application developed within the subproject 3 "Intelligent Environments and control systems" of the PATRAC project, which describes the workflow developed from terrestrial laser scanner survey of the Maritime Museum of Barcelona, 3d model creation, and incorporation of virtual and augmented reality to improve accessibility and user experience of a museum in a wheelchair.

The project proposes three innovative ways to access information: high-resolution panoramas as 2.5D, virtual reality as 3D information and smart tags through augmented reality.

In this paper two processes are described, one is the construction of a high accuracy 3d model created from terrestrial laser scanner data and its theoretical modelling, and two: the application of virtual reality and its interaction with physical devices. Finally conclusions on the various applications and interaction concepts raised are discussed, for the use of this technology to users with disabilities.

ACE

Architecture, City, and Environment

Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

NUEVAS FORMAS DE ACCESIBILIDAD A TRAVÉS DE APLICACIONES CON REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA EN EL MUSEO MARÍTIMO DE BARCELONA: PROYECTO PATRAC, SUBPROYECTO 3

MARAMBIO CASTILLO, Alejandro¹
CORSO SARMIENTO, Juan
LUCENA SALAS, Jennifer
ROCA CLADERA, Josep

Remisión inicial: 06-04-2010

Remisión definitiva: 24-5-2010

Palabras Clave: patrimonio cultural, accesibilidad, escáner láser, realidad virtual y aumentada.

Resumen

Esta contribución presenta una aproximación a la aplicación desarrollada dentro del subproyecto 3: *Entornos inteligentes y sistemas de control de patrimonio* del proyecto PATRAC², en el que se describe la metodología de trabajo desarrollada desde el levantamiento con escáner láser terrestre del Museo Marítimo de Barcelona, la creación del modelo 3d, y la incorporación de aplicaciones de realidad virtual y aumentada para la mejora de la accesibilidad y la experiencia museística de un usuario en silla de ruedas.

Se exploran tres formas innovadoras de accesibilidad a través de: panoramas de alta resolución, realidad virtual y etiquetas inteligentes a través de realidad aumentada. En este trabajo se exponen dos procesos: uno, la construcción de un modelo 3d con alta precisión mediante el uso del escáner láser terrestre y su modelado en 3d; y dos, la aplicación de realidad virtual y su interacción con dispositivos físicos. Finalmente se concluye sobre las diversas aplicaciones y conceptos de interacción planteados, para el uso de esta tecnología en usuarios con movilidad reducida.

¹ **Alejandro Marambio Castillo:** Centro de Políticas del Suelo y Valoraciones. Universidad Politécnica de Cataluña. Diagonal, 649, nivel -1, 08028, Barcelona, España. alejandro.marambio@upc.edu

² Patrimonio accesible: I+D+i para una cultura sin barreras (PATRAC), proyecto singular y estratégico del Ministerio de Educación y Ciencia, bajo el número de expediente PSE-380000-2007 finalizando su segunda anualidad con el número de expediente PSE-39-80000-2008.

1. Introducción

En el año 2007 se inició el Proyecto Singular y Estratégico del Ministerio de Educación y Ciencia, *Patrimonio Accesible: I+D+i para una cultura sin barreras - PATRAC*, con la participación de 2 empresas, 2 centros tecnológicos, 1 fundación, 3 pymes y 3 universidades. Es un proyecto de investigación, basado en el desarrollo de estrategias y metodologías para facilitar el acceso, observación y captación de contenidos del *patrimonio cultural español* que permita el disfrute de dicho *patrimonio* por medio de distintos tipos de información, ya sea esta visual, acústica, física, etc., tomando en cuenta la diversidad de los posibles visitantes, de manera que el sistema ofrezca alternativas para usuarios que por una discapacidad no tenga posibilidad de acceso a una parte o la totalidad del *patrimonio*. Este sistema debe adaptarse a las necesidades de los usuarios, a los que se les provee de información a través de interfaces avanzados, servicios de guiado y localización, de manera adaptada.

El proyecto considera el *patrimonio cultural*³ como el conjunto de bienes muebles e inmuebles de carácter histórico-artístico que tienen un valor excepcional desde el punto de vista histórico, artístico o científico, sean estos monumentos, edificios o paisajes; que dan a conocer y comprender una cultura, y el concepto de *accesibilidad universal*⁴ como el nivel en donde todos los individuos tienen la posibilidad, indistintamente de sus capacidades cognitivas o físicas, de visitar un lugar, acceder a un servicio o utilizar un objeto. Para salvar las dificultades de la *accesibilidad* se utilizan diversos elementos que permiten superar los obstáculos del entorno, consiguiendo que las personas con movilidad reducida realicen la misma acción que puede hacer una persona que no la tiene.

El proyecto *PATRAC* se encuentra estructurado en siete subproyectos: cuatro de ellos de investigación (SP1, SP2, SP3 y SP4), uno de explotación (SP5), uno de difusión y formación (SP6), y otro de gestión (SP7). Dentro de los subproyectos de investigación, específicamente en el SP3, *Entornos Inteligentes y sistemas de control de patrimonio*, se plantea como objetivo el diseño de un sistema de inteligencia ambiental para la creación de entornos accesibles en el patrimonio.

El Museo Marítimo de Barcelona se seleccionó como caso de estudio para el desarrollo y prueba de éste sistema por su gran complejidad espacial y su escala arquitectónica. Es un museo que continuamente realiza actividades para la mejora de la accesibilidad en sus instalaciones y facilita el acceso de sus contenidos a usuarios con necesidades especiales.

La prueba del aplicativo se divide en tres módulos:

El primero se desarrolla a lo largo de un recorrido específico en el cual se identifican diversos puntos de interés: modelos de barcos, esculturas, pinturas, etc. Mediante tarjetas RFID se dan servicios de localización de manera precisa dentro del entorno, de forma que la información mostrada se haga de forma contextualizada con respecto a la posición del usuario sobre un

³ El concepto de patrimonio cultural se ha tomado de la Memoria General de PATRIMONIO ACCESIBLE: I+D+I PARA UNA CULTURA SIN BARRERAS (PATRAC) presentada ante el Ministerio de Ciencia e Innovación en diciembre de 2009.

⁴ Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de Igualdad de Oportunidades, no Discriminación y Accesibilidad Universal de las Personas con Discapacidad

ultramóvil PC táctil montado en una silla de ruedas. Estos servicios pueden ser locales o remotos. Los primeros proporcionan información local al entorno patrimonial y los segundos proporcionan información relacionada con el entorno, pero localizada de forma remota por medio de un servidor web.

El segundo módulo permite al usuario controlar elementos mecánicos (puertas, ascensores, etc.) a través del mismo dispositivo con el servidor web vía WiFi.

El último módulo, sobre el que se centra este trabajo, el de realidad virtual y aumentada, permite que usuarios con diferentes preferencias y discapacidades disfruten de los mismos servicios. Se encuentra ubicado sobre una de las zonas más representativas del Museo Marítimo de Barcelona que corresponde a la Nave Principal y en donde se encuentra una espectacular reproducción de La Galera Real de Juan de Austria que tiene 60 m. de eslora por 6,2 m. de manga.

Este módulo está compuesto por un portátil de alto rendimiento, unas gafas que hacen de monitores, un sensor y una cámara web. En la aplicación se observa el modelo 3d de alta precisión y la interactividad del mismo en tiempo real con diferentes tareas que exploran tres experiencias en la mejora de la accesibilidad de forma digital:

- Visualización de panoramas de alta resolución
- Visualización de reproducciones teóricas con Realidad Virtual
- Visualización de etiquetas inteligentes con Realidad Aumentada

A continuación se describe la complejidad de la construcción del modelo virtual para poder ser visualizado en tiempo real en este módulo, reduciendo al mínimo el número de polígonos, el tamaño en bytes del archivo y el número de texturas. Finalmente, se desarrolla la construcción del modelo 3D en el motor gráfico y su interacción con el hardware para completar el módulo.

2. Modelo 3d

La elaboración de un modelo 3d válido para una aplicación en tiempo real no es una tarea sencilla. Es necesario que el modelo cumpla con una serie de requisitos para su correcta visualización y manipulación en la aplicación.

El primer requisito se refiere a la precisión del modelo, ya que este se combinará con la realidad (por medio de la realidad aumentada), haciendo coincidir la información virtual con la que se visualiza en los trayectos predeterminados, sin dejar margen al error métrico dada la superposición de la información real y la virtual.

El segundo requisito parte de las limitaciones del sistema en que correrá la aplicación, refiriéndose al procesamiento y la interacción con otras aplicaciones, teniendo también en cuenta el tamaño y la gestión de los archivos complementarios, como son las texturas, permitiendo si su caso lo requiere ejecutar el demostrador desde un móvil, dada su portabilidad y los alcances tecnológicos que permiten en la actualidad.

Modelo preciso

El museo marítimo es un edificio que presenta un gran tamaño y complejidad, el uso del escáner láser terrestre (en adelante, TLS) se presenta como la única herramienta para realizar un levantamiento preciso en tiempos razonables para la generación de planos, alzados y secciones para la construcción de un modelo teórico.

Actualmente, el escáner láser terrestre se utiliza para la creación de modelos 3D de objetos históricos; reproduciendo la realidad directamente como puntos espaciales con alta densidad, en tiempo real y en un entorno digital, suministrando información métrica y radiométrica.

El TLS combinado con otras técnicas de documentación digital y tradicional, brinda una solución útil para la documentación de las características espaciales y geométricas de una edificación. Esta información además de ser un registro de mucha precisión, puede ser utilizado como archivo histórico y proporcionar una amplia base de datos (arqueológicos y arquitectónicos), que permite la supervisión de sectores donde es necesario realizar trabajos de restauración y, además, facilita el acceso de una manera virtual a una audiencia más amplia a través de medios digitales.

Modelo con el menor número de polígonos

La tecnología del escáner láser terrestre ha permitido desarrollar y elaborar dos componentes importantes de los contenidos en el módulo de realidad virtual y aumentada:

1. Elaboración del *modelo 3d*: que permitirá interacción de diferentes escenarios y complementar la realidad.
2. Elaboración del *modelo 3d interactivo*: que a través de la *realidad virtual* (sistema tecnológico donde se utilizan ordenadores con otros dispositivos para reproducir el aspecto de la realidad) y la *realidad aumentada* (sistema tecnológico que combina elementos visuales reales con virtuales para la creación de realidad mixta en tiempo real) pretende, por medio de gafas que posee una cámara de video y del software Quest 3d, hacer que la experiencia y la interacción del usuario con el entorno del Museo Marítimo de Barcelona sea atractiva, clara y accesible.

A partir de aquí se realizarán diversas pruebas para la validación del uso del sistema desde un punto de vista dinámico. Para ello seleccionará a diferentes usuarios potenciales, generando una serie de tareas a realizar en la aplicación, monitorizando el proceso de aprendizaje desde de la complejidad del sistema y de la adaptación de la respuesta motora de los usuarios. Paralelamente, se valorará la accesibilidad de las aplicaciones desarrolladas.

2.1 *Modelo 3D de puntos: escáner laser terrestre*

El Museo Marítimo de Barcelona, con un área total de 34.295m², se documentó con un escáner láser terrestre RIEGL z420i⁵ y un cámara réflex digital Nikon D100 de forma intensiva, donde se

⁵ BOEHLER, Wolfgang: Investigating Laser Scanner Accuracy, i3mainz, Institute for Spatial Information and Surveying Technology, FH Mainz, University of Applied Sciences, Mainz, Germany, 2003.

realizaron 507 posiciones en 20 días, obteniendo un modelo final de 782.542.182 puntos (XYZ+i+RGB⁶). Uno de los mayores problemas fue el de minimizar las ocultaciones de un edificio de características complejas y elementos museísticos que obstruían el alcance del escáner.

Para este modelo de puntos se precisó una metodología⁷ que comprendiera dos modelos, uno de baja resolución de puntos con un ángulo de 0.2°, en panoramas de 360°x80°, que permitieron el control de la unión entre posiciones distantes, cerrando la nube de puntos de las fachadas exteriores del museo con las naves del interior en un modelo manipulable completo, con errores fácilmente identificables en la alineación entre posiciones. Complementario a este modelo de nubes de puntos, se generó otro de mayor densidad de puntos, con posiciones con un ángulo de escaneo de 0.08°, en panoramas sectorizados, usualmente de 90°x80° o menores, alineados a la nube de baja resolución, con el objetivo de restringir en esta segunda toma de datos el traslape de la información entre posiciones.

Esta sectorización del proceso de escaneo permitió a su vez corregir el error generado por la diferencia de posición entre el sensor de la cámara y el del escáner, evitando los elementos cercanos, ya que estos tienden a proyectarse a elementos lejanos por esta diferencia y porque la cámara toma los datos con un mayor punto de fuga que el escáner. Con ello se enfatizó la toma de datos de los elementos del edificio, como muros, arcos y techo, reduciendo al mínimo la afectación de los visitantes del museo como elementos ajenos al edificio, facilitando a su vez la eliminación de la información no deseada en las nubes de puntos.

Con esta metodología de escaneo se reduce el ruido en el color de los puntos como se muestra en la Figura 1, al evitar cruzar información lejana con la cercana debido a la profundidad de campo, a factores ambientales y, sobre todo, los cambios bruscos de iluminación entre posiciones del interior del edificio debido a las diferentes fuentes de luz existentes. Paralelamente a ello, en casos específicos se utilizó la técnica de renderizado High Dynamic Range Rendering (en adelante, HDR), que busca imitar el funcionamiento de la pupila del ojo al conseguir iluminar correctamente todas las zonas de una fotografía, aunque estas contengan diferentes luminosidades al fusionar fotografías con diferentes informaciones de luminosidad.

Figura 1. Homogeneidad de color en el modelo de nube de puntos



Fuente: Laboratorio de Modelización Virtual de La Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña

⁶ Coordenadas espaciales, intensidad del material con respecto al láser, color de forma rojo, verde y azul.

⁷ ROCA, Josep y MARAMBIO, Alejandro: Modelos Digitales De Nubes De Puntos De La Habana Vieja, Cuba, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2006.

A partir de este modelo se generaron a través de un visualizador Pointools Pro 1.7; plantas, secciones y alzados, como ortoimágenes de alta resolución a escala como base para la creación del modelo 3D poligonal (Figura 2). Estas imágenes a escala 1/100 con una resolución de 100 pixeles por centímetro permiten la extracción vectorial de información.

En ellas, desde el punto de vista de la representación, se tiene en cuenta la profundidad de los diferentes planos de los elementos seccionados, identificando a los más cercanos con un color más fuerte y las proyecciones lejanas con ciertos grados de transparencia, llegando al punto de enmarcar los elementos cortados de la nube de puntos en color negro, todo ello mediante la fusión de diferentes imágenes tomadas de la nube de puntos con sus respectivas secciones en tres dimensiones, conservando la posición inicial de la cámara sobre la que se proyecta esta información.

Figura 2. Ortoimagen de la nube de puntos a escala



Fuente: Laboratorio de Modelización Virtual de La Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

Dada la complejidad del edificio, se realizaron un total de 122 secciones verticales al modelo de nube de puntos, con 97 secciones interiores y 25 fachadas, al igual que una planta independiente por espacio, techo y del conjunto del edificio, registrando la información planimétrica que permite una clara comprensión de los espacios, identificando los cambios que se producen en cada uno de los muros, arcos y componentes del edificio.

Este proceso permitió identificar tanto los elementos que no eran registrables por su altura como las irregularidades, la relación entre espacios internos y con el exterior, en un modelo complejo pero manejable, en el que hay vacíos de información de zonas inaccesibles de interés arqueológico, por explorar en futuras intervenciones, en un edificio de interés patrimonial, arquitectónico e histórico.

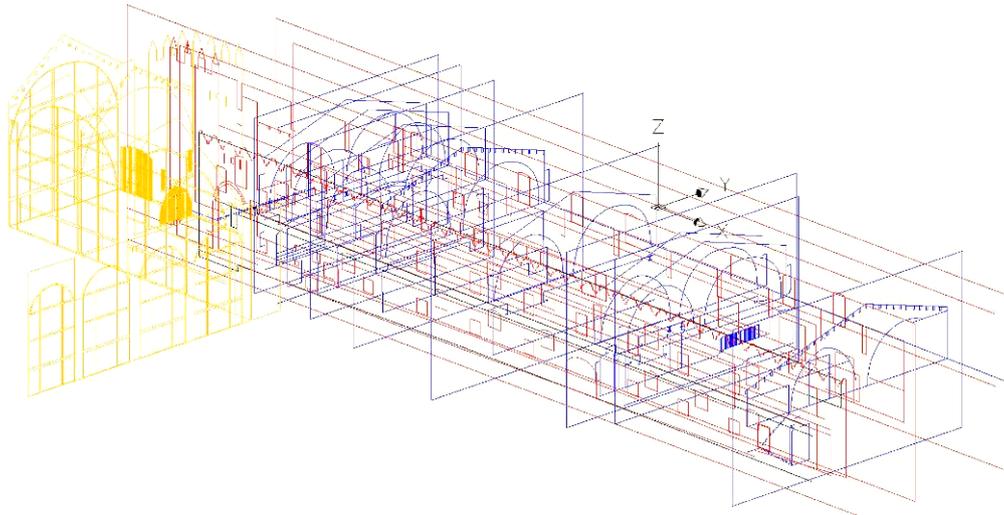
Posterior a ello se realizó la vectorización de dichas imágenes de forma manual, comenzando por la planta, de la cual se tenía previamente los primeros dos niveles, con errores métricos que no correspondían con el modelo de nube de puntos, al ser planos arquitectónicos conceptuales, en donde todos los muros, arcos y columnas se construyeron digitalmente de forma ortogonal y paralela. A diferencia de estos planos la realidad tiende a ser irregular, debido a los procesos constructivos y a las continuas modificaciones que ha sufrido este edificio a lo largo del tiempo, sumando a ello la desactualización de los planos vectoriales generales del edificio, en cuanto a reformas nuevas y en cuanto a los elementos museísticos.

Complementario a ello se realizaron secciones vectoriales básicas, con estrictamente lo necesario para el levantamiento del modelo 3d, como son: arcos, puertas, ventanas, columnas, vigas y techos; de las diferentes secciones anteriormente explicadas (ver Figura 3) de la zona del vestíbulo y oficinas. Realizando 42 secciones del acceso - zonas administrativas, 11 de la

cafetería - Nave de la Generalitat, 13 de la sala Comillas, 31 de la Nave Medieval y las 25 fachadas.

Estas secciones y plantas se generaron como entidades cerradas, en cuanto a la unión de los vértices, permitiendo convertirlas posteriormente en planos y ser extruidas o unidas como mallas en la etapa posterior de modelado.

Figura 3. **Secciones vectoriales del modelo**



Fuente: Laboratorio de Modelización Virtual de La Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

Como elemento de unión y rectificación de las secciones tanto de imágenes detalladas como las vectoriales interpretadas, se utilizó un modelo de malla decimado⁸ por cada uno de los espacios, permitiendo la correcta relación de las secciones internas, previamente ubicadas al interceptar las secciones longitudinales con las trasversales, alineándolas con el exterior y la planta, siendo un elemento de control para la construcción de la malla con un nivel de precisión óptimo para tal objetivo.

La reducción de polígonos de la malla en la Figura 4 se realizó mediante aplicaciones industriales de la ingeniería inversa, generando un modelo poligonal de malla libre de un vértice cada 10 cm., dividido por los espacios del edificio con un máximo de un millón de polígonos por malla, permitiendo su manipulación en programas de modelado.

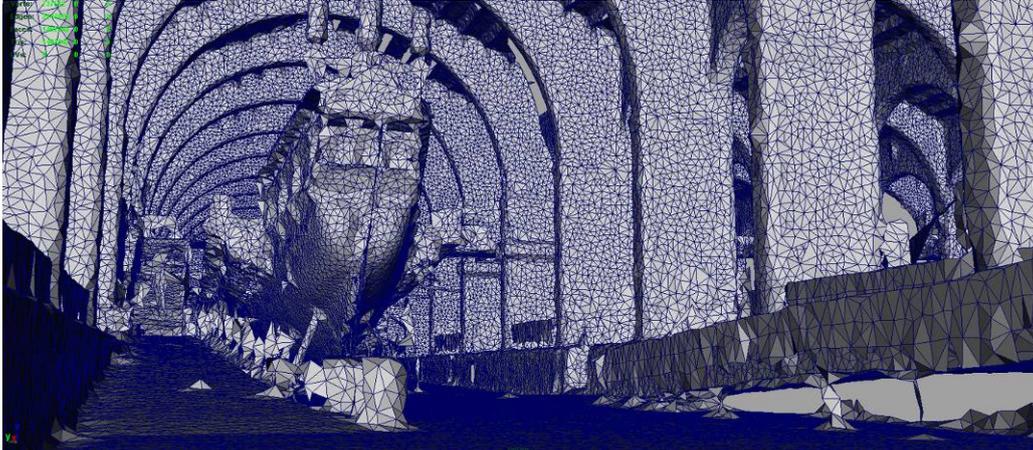
Con este modelo se reduce la precisión del modelo comparándolo con la nube de puntos, especialmente en las aristas, pero como este modelo es un modelo de apoyo esta información se corrige mediante los vectores e imágenes anteriormente mencionados.

La elaboración de este modelo adquiere una importancia crucial para entrelazar dicha información y para la construcción de elementos orgánicos complejos, como la Galera Real de

⁸ **CIGNONI, Paolo:** A comparison of Mesh Simplification Algorithms, Computer and Graphics, 22(1), 1998.

Juan de Austria, o los cambios de nivel del Jardín del Rey, en los cuales la precisión es difícil de asegurar con pocas secciones de la nube de puntos.

Figura 4. **Modelo decimado**



Fuente: Laboratorio de Modelización Virtual de La Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

2.2 *Modelo 3D poligonal teórico*

La precisión del modelo parte de la información base de la que se dispone, por una parte la extraída de los datos del escáner laser y por otra la documentación complementaria como imágenes aéreas, fotografías, planos vectoriales, entre otros, que cubre las zonas que no se logró escanear. Para ello fue imprescindible la georreferenciación de estos datos, que al mismo tiempo permitieron otro punto de verificación del modelo.

Tomando para ello las bases cartográficas del Catastro y del Instituto Cartográfico de Catalunya de su base 1:25.000, con una diferencia significativa entre vectores, requiriendo de una comprobación con una base topográfica de puntos, acercando al modelo a una posición más fiable. Esta información tomó como referencia el sistema UTM 31N, European Datum 1950 correspondiente a Catalunya.

Al tener el modelo en su posición correcta, se procedió a extraer la información de la nube de puntos, planteando para ello tres metodologías complementarias entre sí, comenzando con la generación de imágenes ortogonales perpendiculares a las fachadas, secciones y plantas que conforman cada espacio escaneado. Posteriormente su vectorización y, como último proceso de extracción de esta información, se malló la nube de puntos y se decimó, al punto de que fuera manipulable en aplicaciones de diseño asistido por ordenador CAD.

En cada proceso de extracción se controló el grado de precisión que se requería y la función que desempeñarían para el modelado, se logró reducir la interpretación, manejando escalas predeterminadas de detalle, permitiendo diversos puntos de verificación entre estas bases en las etapas de construcción del modelo.

En esta etapa de modelado geométrico se tuvo en cuenta la organización de las texturas e iluminación, en cuanto a la reorganización y limpieza del modelo final en la aplicación interactiva.

Construcción del modelo

Con la información base anteriormente descrita se comenzó el proceso de mallado, partiendo de un principio, el de menor número de polígonos, sin considerar los elementos del edificio como elementos aislados, sino como una única superficie, interpretando las columnas y muros entre otros como parte de una única superficie que posteriormente se seccionarían, logrando reducir el número de polígonos describiendo sólo las superficies visibles, convirtiendo los espacios en volúmenes con la normal hacia el interior, para ser posteriormente extruidos, recortados o simplemente moviendo sus vértices a las posiciones en las que coincidan con la información base.

La construcción de estos volúmenes partieron de la planta vectorial, complementada con entidades cerradas de regiones, que constituían el espacio interior de cada zona a modelar, pasando a ser transformadas a planos poligonales en el que su perímetro describe los elementos del espacio, como son las columnas y muros.

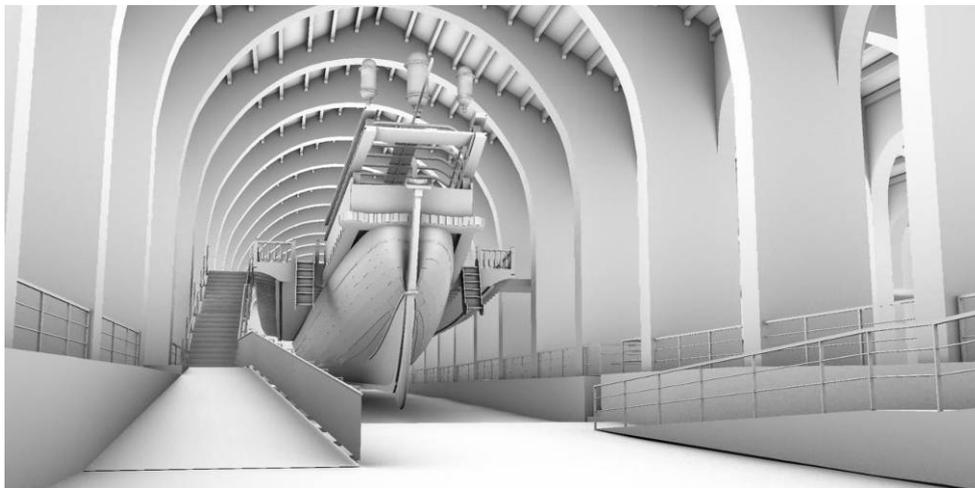
Al ser extruidas estos planos poligonales se forma un volumen base, de muros, suelo y techo, con una distribución poligonal irregular, que se reorganiza para mantener una continuidad lineal en mallas rectangulares (quads), realineando los vértices y adaptando la malla para corresponder con las bases vectoriales, raster y poligonales.

Se rectificaron las alturas de cada una de las arcadas entre columnas mediante las secciones vectoriales, realizadas en todos los arcos y columnas del modelo, que permitió la construcción de un modelo con referencia métrica precisa en puntos determinantes, siendo al mismo tiempo protagonista la malla decimada para afrontar las irregularidades del suelo y de los techos.

En un modelo donde los bordes y vértices tienen una continuidad lineal entre superficies, permitiendo que los cambios de las superficies horizontales tengan su homólogo en las superficies verticales, optimizando el proceso de modelado, que a su vez facilita el procesamiento de iluminación y visualización del modelo en la plataforma móvil.

El exterior del modelo partió también de estas entidades cerradas de planta y de fachada unidas, generando elementos de fachadas con un nivel de precisión y detalle mayor que a partir del modelado de pieza individuales. Se busca en todo momento un modelo organizado y fácilmente manipulable, que permite aumentar el detalle del mismo en etapas posteriores sin cambiar la estructura del proyecto aumentando el grado de detalle de cada elemento mediante su subdivisión y modelado, alcanzando el detalle de la Figura 5.

Figura 5. Iluminación del Modelo 3d



Fuente: Laboratorio de Modelización Virtual de La Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

El modelo definitivo cuenta con un total de 1.199.170 caras, desglosado en la Tabla 1, de las cuales 937.132 caras son de elementos que no son parte del edificio patrimonial, pero que ayudan a entender su función actual.

Tabla 1. Número de polígonos para cada espacio del modelo

Edificio patrimonial		Elementos auxiliares	
Espacio	Núm. caras	Espacio	Núm. caras
Exterior	41303	Detalles	48124
Vestíbulo, oficinas	31041	Galera	889008
Comillas	19212		
Nave Medieval	137466		
Nave Generalitat	12196		
Modelo Teórico	20820		
Sub Total	262038	Sub Total	937132

Fuente: Laboratorio de Modelización Virtual de La Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

Reorganización de la malla y los mapas de UV

Los volúmenes generados en la etapa de modelado se reorganizaron en base a las texturas aplicadas, manteniendo su zonificación por espacios, dividiéndolos en cuatro categorías: suelo, techo, muros y elementos. Estas categorías corresponden a un material específico, en el que las texturas de los materiales juegan un papel trascendental en la organización del modelo, ya que dependiendo si son texturas repetitivas, imágenes fotográficas, texturas de iluminación o

de detalle, cambian las características de un modelo que busca el menor número de archivos para su procesamiento en tiempo real.

En esta disposición de aplicar información sobre la superficie del objeto surge la necesidad de estructurar los mapas que se aplican sobre ella. Entendiendo que complementando a los ejes X, Y, Z, que son las coordenadas del objeto 3D en el espacio del modelo, están las coordenadas U, V, W de la transformación del objeto, adicionando información en dos dimensiones a la superficie de este.

En el proceso de organizar esta información U, V, W se consideran técnicas de mapeado, usadas en geometrías complejas, ya que las platónicas, sólidas, primitivas o formas regulares, pueden tener mapas proyectados automáticamente gracias a parámetros preestablecidos. Esta técnica de reorganización de información es aplicada por cara y no por vértice, esto significa que un mismo vértice puede tener coordenadas UV separadas para cada polígono, en el que sus polígonos adyacentes pueden dividirse y posicionarse en diferentes partes del mapa, permitiendo un mayor aprovechamiento del espacio del mapa, evitando no desperdiciar memoria en espacios vacíos en el mapa de UV.

De este aprovechamiento del espacio del mapa depende la división o adición de determinadas mallas, manteniendo una escala uniforme entre elementos del mismo material y en los casos que no se logra, la malla tiene que subdividirse, reordenando sus mapas de UV, como lo es el caso de los muros y arcos de la nave medieval, la cual se dividió en siete mallas, manteniendo la proporcionalidad en cuanto al área de superficie entre ellas.

Las UV tienen que contemplar también de qué forma se tomaron las texturas, ya que estas se tienen que posicionar de igual forma en el mapa y deben contener la información pertinente a su función, como con las imágenes fotográficas, en las cuales se corrige la iluminación quitando las sombras, la sobreexposición y la luz reflejada. En este proceso de corrección del color no se busca resaltar el detalle, por lo contrario el contraste en la imagen imposibilita la adecuada homogenización entre imágenes.

También se aplican otros mapas para aumentar el realismo del modelo⁹, como con el falso relieve (bumpmap), que permite aparentar un mayor detalle mediante una técnica de iluminación en el renderizado en tiempo real, sin modificar la superficie de la malla y el proceso de renderizar la iluminación a la textura, que permite aplicar cálculos de iluminación complejos y ejecutarlos como una textura, reduciendo el procesamiento por iluminación en tiempo real.

Por último, el modelo se exporta cumpliendo las características de la plataforma Quest 3d en la que se ejecutará, siendo el formato de exportación del nuevo estándar de intercambio (*collada*), como polígonos triangulares, y las imágenes de la iluminación y los materiales en formato jpg. en proporción de 1024x1024 píxeles.

⁹ ÖHRN, Tina: Different Mapping Techniques for Realistic Surfaces, tesis, Department of Mathematics, Natural and Computer Science, 2008.

3. Aplicación de Realidad Virtual y Aumentada

El módulo de realidad virtual y aumentada se compone de cinco partes: el motor gráfico¹⁰, que permite la visualización en tiempo real del modelo 3d y su interacción con los periféricos; un portátil, que se encarga de gestionar la información en local; unas gafas, que hacen el papel de monitores; un sensor, que da la posición espacial entre el mundo real y el virtual; y una cámara web, que permite visualizar el mundo real en las gafas para poderlo combinar con el modelo 3d.

Actualmente, existen una serie de motores gráficos que permiten este tipo de visualizaciones. La industria de los videojuegos ha tenido un desarrollo importante de los mismos en los últimos años, y se destaca algunos gratuitos como Unity o Shiva3D y otros con precios accesibles como Quest3D. Este proyecto eligió Quest3D como motor por su fácil interacción y capacidad de integrarse con paquetes libres como VRPN¹¹ (Red de Periféricos para Realidad Virtual).

3.1 Motor gráfico: Quest 3d

Quest3D es un programa bastante intuitivo en el que la programación de acciones se desarrolla conectando componentes funcionales, denominadas "Channels". Los "Channels" vinculados componen una estructura de árbol, que representa la estructura del programa que se implementa. El árbol de cajas se ejecuta por completo una vez, invocando a cada "channel" obteniendo como resultado una aplicación 3D en tiempo real. De esta manera todos los elementos se vuelven cajas que se relacionan unas con otras. Como no existe fase de compilación, el rendimiento de las aplicaciones es el mismo durante la fase de diseño que durante la fase de ejecución, característica que es muy valorada al estar desarrollando aplicaciones en tiempo real.

Las aplicaciones realizadas en Quest 3d pueden ser posteriormente publicadas en diferentes formatos, para permitir su visualización a través de diferentes medios. Ejemplos: Fichero ejecutable "standalone" y visor WEB basado en control ActiveX de Microsoft.

La interacción con dispositivos físicos se puede realizar a través de un servidor VRPN. Es un conjunto de clases dentro de una biblioteca y un conjunto de servidores que están diseñados para implementar una interfaz de red transparente entre la aplicación y el conjunto de dispositivos físicos (sensor, cámara web, etc.), utilizados en el sistema de realidad virtual. VRPN proporciona las conexiones entre la aplicación y todos los dispositivos que utilizan la clase apropiada de servicio para cada tipo de dispositivo de distribución de este enlace. La aplicación sigue siendo consciente de la topología de red, por lo que es posible utilizarlo con dispositivos que están conectados directamente al ordenador en la que la aplicación se ejecuta, ya sea mediante programas de control separados o cuando se ejecutan como un solo programa.

¹⁰ Término que hace referencia a una serie de rutinas de programación que permiten el diseño, la creación y la representación de un modelo 3D en tiempo real.

¹¹ <http://www.cs.unc.edu/Research/vrpn/>

VRPN también proporciona una capa de abstracción que hace que todos los dispositivos de la misma clase base tengan el mismo aspecto, por ejemplo, todos los dispositivos de seguimiento parecen que son de tipo *vrpn_Tracker*. Esto significa que todos los seguidores deben producir los mismos tipos de informes. Al mismo tiempo, es posible que una aplicación que requiere acceso a las funciones especializadas de un dispositivo de seguimiento determinado (por ejemplo, decirle a un cierto tipo de seguimiento de la frecuencia con la generación de informes), para derivar una clase que se comunica con este tipo de rastreador. Si esta clase especializada se utiliza con un rastreador que no entendía cómo establecer su tasa de actualización, los comandos especializados serían ignorados por ese tracker. Los tipos de sistemas actuales son analógicos, Button, Dial, ForceDevice, sonido, texto, y Tracker. Cada uno de estos es un conjunto abstracto de la semántica de un determinado tipo de dispositivo. Hay uno o más servidores para cada tipo de dispositivo, y una clase de cliente para leer los valores desde el dispositivo y el control de su funcionamiento. Esta programación fue desarrollada por los socios del proyecto Labein Tecnalía para incluirse en el programa como una caja y facilitar las distintas programaciones necesarias.

Entre las características más importantes de este software, se encuentra la metodología de programación que utiliza de forma diferente los lenguajes usuales de programación existentes, como por ejemplo el C++. El entorno de desarrollo de Quest3d es casi enteramente de manera visual. Otra de sus características más importantes es que permite al programador modificar la aplicación mientras ésta se está ejecutando, lo que significa que no existe compilación de código como en los entornos de programación habituales. Acepta como archivo de intercambio el formato *COLLADA*, ampliamente usado por la mayoría de los programas de generación de modelos 3d sin pérdida de información de los mapas UV, cámaras y animaciones, y que utiliza como motor de renderizado DirectX lo que limita su visualización a entornos únicamente de Windows.

3.2 Periféricos: gafas, cámara web y tracking

Hoy en día la visualización de imágenes digitales se realiza normalmente en pantallas tradicionales, en dónde un usuario puede ver diversas imágenes a distancias entre 50 cm. y 2 m., en pantallas de 10" a 55" pulgadas. La desventaja de estos sistemas es que el usuario no puede mover el dispositivo con libertad por su peso y tamaño. La solución planteada se basa en un sistema que le permita al usuario contar con la mayor superficie de visualización en el menor tamaño posible de manera portátil.

Las gafas seleccionadas abordan dichas limitaciones, proporcionando información legible de pantalla grande y alta calidad de imagen en un pequeño dispositivo. Las gafas Vuzix Wrap 920 ofrecen una resolución de 752x480 a 60 fotogramas por segundo que pueden ser vistas en forma estereoscópica, se conectan a través de un cable VGA de forma directa al portátil y usan un cable de USB 2 como alimentación de energía.

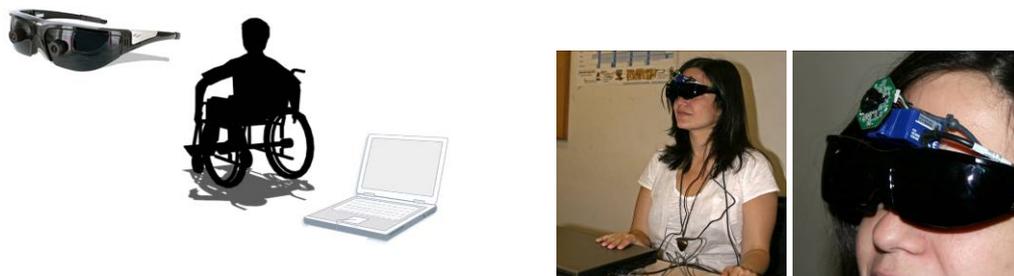
La información de la cámara web montada sobre las gafas es la que permite ver y experimentar realidad mixta y aumentada a través de la plataforma de Quest, cumpliendo con la resolución de las gafas.

Por último, para la implementación del tracking en el módulo, se ha seleccionado un multisensor de la casa Intersense, modelo InertiaCube2+. Contiene nueve sensores miniatura que utilizan algoritmos de filtrado avanzado para producir un total de 360° sin origen de seguimiento de la orientación del sensor. Destaca por tamaño y portabilidad, conexión directa, la predicción de movimiento, la sensibilidad de giro ajustable y el control de datos de salida de filtrado permite la fina regulación para aplicaciones específicas.

3.3 Experiencias

Este módulo presenta la siguiente disposición que muestra la Figura 6. Se puede observar que el sensor y las gafas se colocan a la altura de la nariz para centrar el eje de rotación y que toda la alimentación de energía se hace a través de cables USB de manera directa con el portátil, que en caso de estar desconectado presenta una autonomía de 6 horas.

Figura 6. Módulo de Realidad Virtual y Aumentada



Fuente: Laboratorio de Modelización Virtual de La Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

Al ponerse las gafas el usuario, el sensor reconoce el cambio brusco de posición y el programa se reinicia para ofrecer al usuario tres experiencias en siete minutos:

1. Visualización de panoramas de alta resolución: la visualización sobre zonas determinadas del panorama permite acercamientos a detalles que de manera natural no serían posibles. La interactividad aprovecha la información del sensor de movimiento y el tiempo, para que se ejecute las acciones, eliminando el uso de un control manual. Estos entornos digitales permiten asimismo controlar los problemas ocasionados por los grandes contrastes de luz, que se dan en edificios patrimoniales cuyo programa arquitectónico no tenía como finalidad ser espacios expositivos. El panorama se genera en forma cúbica para minimizar los problemas de ejecución en el motor gráfico en resoluciones de 2048x2048 píxeles.
2. Realidad Virtual: la visualización se realiza en estéreo. Al estar calibrada la posición de las gafas con el entorno real mediante el sensor, permite la visualización de la réplica digital en su sitio con 9 grados de libertad. En esta experiencia, se realizan recorridos alrededor de objetos en puntos de vista que sólo es posible en entornos virtuales, también es posible mostrar reproducciones históricas como la Galera Real sin el edificio y en todo su

esplendor con remos, mástiles y velas o mostrar el caso inverso, la Nave Central sin la Galera Real con su antigua arcada (ver Figura 7).

Figura 7. Visualización



Fuente: Laboratorio de Modelización Virtual de La Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

3. Realidad Aumentada. Mezcla las dos experiencias anteriores, sobreponiendo imágenes virtuales sobre una imagen real, a través de la captura de cámara web sobre un plano en el modelo 3d en forma de textura. Las acciones sobre las etiquetas inteligentes se ejecutan cuando el usuario fija el punto de vista en un tiempo determinado, de esta forma se activan fichas informativas y/o videos.

4. Conclusiones y trabajo futuro

El desarrollo del módulo de realidad virtual y aumentada ha permitido probar distintas tecnologías disponibles, sin grandes inversiones en un dispositivo fácilmente transportable capaz de interpolarse en cualquier otro entorno de carácter patrimonial. En la metodología propuesta para la elaboración de este módulo podemos destacar la elección que el escáner láser se presenta como la mejor herramienta para un levantamiento rápido y preciso de un edificio complejo, aunque es necesario la generación de información tradicional: plantas, secciones y alzados, para la creación de un archivo 3D de polígonos con el menor número posible de superficies. Resulta imposible reducir en tiempos razonables modelos poligonales provenientes del escáner laser en modelos poligonales útiles. Dada la cantidad de información que registran, existe un proceso de reducción de ésta a través de procesos de filtrado, generando una base fiable sobre la cual se procedió a construir un modelo interpretado, que utilizó el mínimo número de polígonos dadas las exigencias del proyecto y al mismo tiempo conservando un alto grado de precisión respecto al edificio original.

En el apartado de la construcción del modelo con el menor número de polígonos se entiende que la estructura en la generación de dicho modelo es un aspecto a profundizar, a pesar de existir archivos de intercambio válidos como COLLADA, el esfuerzo de cambios entre programas es un tema por resolver que se facilita de acuerdo a la estructura planteada. Esta estructura también facilita la aplicación de texturas y la generación de mapas UV para la iluminación. La simplificación del modelo tiene un impacto directo en la ejecución de la aplicación en tiempo real.

Aunque Quest 3d es una aplicación fácil de usar y programar, puede ser fácilmente substituida por una aplicación con características similares, la integración con dispositivos físicos resulta uno de los temas más importantes a tener resueltos. El uso de gafas con pantalla incluida, cámara web y el sensor se presenta como una herramienta fácil de usar, y como un instrumento natural para la integración de modelos virtuales con modelos reales. Permiten una visualización en la que todos los parámetros pueden controlarse, además de ofrecer una visualización en estéreo en una pantalla de mayor tamaño comparada con los dispositivos móviles

Debido a la complejidad que presentan la interacción entre plataformas, trabajando con el software Quest 3d en la construcción del demostrador y su coste, se plantea profundizar en este proyecto desde la plataforma Unity 3D, la cual integra en la construcción del modelo geométrico con el interactivo, permitiendo la modificación del modelo sin tener que exportar o reimportarlo, lo cual tiene grandes ventajas en un proyecto en el cual el modelo cambia en la medida que el proyecto evoluciona y se torna más complejo. Esta plataforma es de uso gratuito y permite trabajar con otros sistemas operativos diferentes a Windows, permitiendo ampliar el horizonte de dispositivos móviles y táctiles sobre la cual puede funcionar el demostrador.

Bibliografía

BOEHLER, Wolfgang. *Investigating Laser Scanner Accuracy*. En: Cipa Symposium, (6º, 2003, Antalya, Turquía). pp: 189-195.

CIGNONI, Paolo; MONTANI, Claudio y SCOPIGNO, Roberto. *A Comparison of Mesh Simplification Algorithms*, En: Computer and Graphics, 22(1): 37-54, 1998.

ÖHRN, Tina. *Different Mapping Techniques for Realistic Surfaces*. Tesis. Department of Mathematics, Natural and Computer Science, University of Gävle, Gävle, Sweden, 2008. pp: 6-13.

ROCA, Josep y MARAMBIO, Alejandro. *Modelos digitales de Nubes de puntos de La Habana Vieja, Cuba*. En: Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual (3º, 2006, Bilbao, España). Trabajos. Barcelona, España. Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña, 2006. pp: 1-7.