

# Innovación en sistemas de inteligencia ambiental para la accesibilidad al patrimonio

Herramienta de evaluación y aplicación de realidad aumentada

## Alejandro Marambio Castillo

Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV).  
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).  
alejandromarambio@upc.edu

Arquitecto, Licenciado por la Universidad Autónoma de México. Máster en Gestión y Valoración Urbana, UPC. Investigador del Centro de Política de Suelo y Valoraciones. Coordinador técnico del Área de Escáner Láser del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad (LMVC).

## Rolando Biere Arenas

Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV).  
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).  
rolando.mauricio.biere-arenas@upc.edu

Arquitecto, Licenciado por la Universidad de Valparaíso (UV) Chile. Máster en Gestión y Valoración Urbana, UPC. Investigador del Centro de Política de Suelo y Valoraciones. Coordinador técnico del Área de SIG del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad (LMVC).

### Resumen:

Este artículo presenta dos aplicaciones desarrolladas en el proyecto PATRAC<sup>1</sup>, en los subproyectos SP1, "Diagnóstico de la accesibilidad al Patrimonio" y SP3, "Entornos inteligentes y sistemas de control de patrimonio". 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 de un usuario en silla de ruedas, así como el desarrollo de una herramienta de evaluación de la accesibilidad de rutas predefinidas para diversos tipos de usuarios visitantes.

### Palabras clave:

Escáner láser, SIG, patrimonio cultural, accesibilidad.

### Abstract:

This paper presents two applications developed of the PATRAC project, within the subprojects SP1, "Diagnosis of the accessibility to the Patrimony" and SP3, "Intelligent Environments and control systems". It 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 to a user in a wheelchair, like this as the development of a tool of evaluation of the accessibility of predefined routes for different types of visitor users.

### Key words:

Laser scanner, GIS, cultural heritage, accessibility.

## Introducción

El Proyecto de investigación Singular Estratégico del Ministerio de Educación y Ciencia, Patrimonio Accesible: I + D + i para una cultura sin barreras, PATRAC, se ha desarrollado entre los años 2007 y 2010 y en él han participado como socios: empresas, centros tecnológicos, fundaciones, pymes y universidades. El proyecto ha buscado desarrollar estrategias y metodologías que faciliten el acceso, observación y captación de contenidos del patrimonio cultural español, garantizando su disfrute por medio de distintos tipos de información, visual, acústica y física, entre otras, considerando la diversidad de posibles usuarios y ofreciendo alternativas a personas que por una limitación no tengan acceso a una parte o a la totalidad del bien patrimonial. En el ámbito de las herramientas informáticas, ha perseguido generar interfaces avanzadas de evaluación, servicios de guiado y localización en entornos patrimoniales.

Se ha considerado como patrimonio cultural al conjunto de bienes muebles e inmuebles histórico-artísticos 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 como el nivel en que todos los individuos, indistintamente de sus capacidades cognitivas o físicas, pueden visitar un lugar, acceder a un servicio o utilizar un objeto.

El proyecto se ha estructurado en siete subproyectos: cuatro de ellos de investigación, uno de explotación, uno de difusión y formación, y otro de gestión. Dentro de los subproyectos de investigación, en el SP1, *Diagnóstico de la accesibilidad al Patrimonio*, uno de sus objetivos específicos es desarrollar una plataforma basada en Sistemas de Información Geográfica, SIG para la gestión de la información sobre accesibilidad, como base de una herramienta de diagnóstico de la accesibilidad al Patrimonio Histórico Español y 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. De ambas aplicaciones se realiza un desarrollo sintético en este artículo.

### La tecnología base

En todos los procesos se ha utilizado como punto de partida la información obtenida mediante Escáner Laser Terrestre, TLS<sup>2</sup>, instrumento topográfico que permite obtener gran cantidad de medidas en forma de coordenadas espaciales en un sistema de referencia propio y en un tiempo muy breve. Con la repetición de las medidas desde distintas posiciones sucesivas y su posterior unión en un único sistema de referencia a través del reconocimiento de puntos homólogos, se obtiene un modelo 3D de un entorno complejo. La nube de puntos global obtenida de la toma de datos de la realidad se complementa e integra con imágenes digitales a alta resolución y se optimiza para una mejor gestión de los datos.

El sistema está compuesto por un láser y un escáner (con barrido horizontal y vertical). Utiliza las propiedades del láser de producir luz monocromática, coherente, intensa y sin dispersión; y un escáner para efectuar el barrido en líneas paralelas que completen la superficie a levantar. El láser escáner mide y guarda no solo la distancia al objeto sino también el valor de la reflectancia. (BUILL, NÚÑEZ; 2008) La exploración láser en alta definición 3D se puede definir como cualquier instrumento que recoja datos 3D de una superficie o de un objeto en una manera sistemática, automatizada, y en tiempos relativamente cortos, cercanos a tiempo real. El levantamiento láser puede ser distinguido del tradicional por el tiempo en que realiza el muestreo del mundo físico, imposible de conseguir anteriormente, entregando como resultados datos de alta definición, con la posibilidad de generación de bases de datos altamente extensas.

Una vez obtenida y procesada la información del TLS se ha trabajado con Sistemas de Información Geográfica, SIG<sup>3</sup>. A mediados del siglo pasado surge una corriente en el estudio de la Geografía que propone nuevos

Abajo. Nubes de puntos en blanco y negro y en color. Fotografía: Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC. UPC.



conceptos, métodos y técnicas de análisis que acabará conformando más tarde el llamado paradigma cuantitativo o de análisis espacial, principal fundamento teórico de los Sistemas de Información Geográfica (GARCIA, BIERE, 2004: 7). El principio básico de un SIG es relacionar elementos gráficos georeferenciados, en el territorio, con información alfanumérica que permite vincular datos, relacionarlos entre sí y operar en un contexto espacial específico. La información del sistema está georeferenciada y se puede trabajar con información propia, así como vincularse mediante conexiones con Servidores de Mapas Web, con datos externos, de carácter público, generalmente de instituciones relacionadas con diferentes aspectos de gestión del territorio. Los SIG se constituyen así en una verdadera revolución para todas aquellas ramas de la ciencia, interesadas en el estudio y conocimiento de los elementos y fenómenos que tienen lugar en la superficie de nuestro planeta. (COMAS, RUIZ, 1993: 28).

Un SIG realiza la integración entre información espacial (coordenadas, localización, etc.) y características del elemento, así como relaciones geográficas y de interacción del elemento con su entorno. Es un sistema de información específico desarrollado para trabajar con datos georeferenciados en base a coordenadas geográficas-espaciales, en que el ámbito de la geografía es primordial, en tanto es necesario para estructurar la información y posteriormente desarrollar los análisis. Se puede decir que un SIG es una base informatizada de datos que almacena, información cartográfica-territorial, posibilitando conocer la “localización” de elementos en el espacio y en relación con otros, e información alfanumérica que entrega datos sobre las características específicas o atributos de los elementos identificados (GARCIA, BIERE, 2004: 23). Se debe entender que dato espacial o georeferenciado es el elemento básico de un SIG, en tanto contiene en sí mismo la localización espacial, coordenadas (X,Y) y además la característica específica (z), sobre las cuales se sustentan todas las operaciones y análisis a realizar. Es sustancial destacar en este punto la importancia de las coordenadas en el caso de una nube de puntos de escáner laser terrestre, que en nuestro caso nos entrega las coordenadas precisas que serán las que se integrarán en el SIG vectorial de los recorridos sobre los cuales se analizará la accesibilidad.

Para facilitar el acceso y visualización a la información de un SIG, éste la organiza en capas independientes. Posibles de trabajar, modificar y actualizar separadamente, sobre cada una de las cuales se representa un tipo determinado de objetos espaciales, como se muestra en la figura siguiente. Al representar cada capa temática un tipo específico de elementos de la realidad, cada una almacena un tipo particular y homogéneo de objetos espaciales, por ello mediante la capacidad de análisis de un SIG al generar interacciones entre las distintas capas de elementos se puede obtener información nueva y desconocida hasta el momento.

## **El proceso**

Básicamente se divide en una primera etapa de toma de datos *in situ*, en el museo, elaboración del modelo de nube de puntos y elaboración de los aplicativos de evaluación y de realidad aumentada, ambos con procesos propios de generación de productos digitales intermedios con requerimientos técnicos específicos.

### **La toma de datos: escáner laser terrestre**

Una vez planificado el proceso de recogida de datos con el escáner láser, se realiza el trabajo de levantamiento de datos *in situ*, proceso fundamental, en tanto las nubes de puntos obtenidas fueron la base de la construcción del modelo 3D y de la posterior generación de los recorridos en formato vectorial para la evaluación de los mismos y de la elaboración del modelo geométrico para el trabajo de realidad aumentada. El Museo Marítimo de Barcelona con un área total de 34.295 m<sup>2</sup> se documenta con un escáner láser terrestre RIEGL z420i y una cámara réflex digital Nikon D100 de forma intensiva. Un aspecto fundamental en este procedimiento es la planificación de las tomas, para lo cual se visita el museo marítimo y se realiza un mapa previo con las localizaciones de las posiciones, considerando que no queden zonas sin cubrir. La toma de datos es realizada por dos personas durante 21 días. Se realizan un total de 507 posiciones y se recogen más de 4500 imágenes para la generación de las nubes de puntos. Uno de los mayores problemas en el proceso es el de minimizar las ocultaciones en un edificio complejo y con elementos museísticos que obstaculizaban el alcance del escáner.

### **Modelo 3D de puntos**

Con la nubes de puntos se trabaja en la elaboración del modelo, obteniendo un modelo 3D final con un total de 782,5 millones de puntos (Coordenadas XYZ + intensidades + RGB). Para este modelo de puntos se utiliza una metodología de dos modelos, uno de baja resolución de puntos con un ángulo de 0.2°, en panoramas de 360°x80°, que permiten 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. Complementario a este modelo se genera otro de mayor densidad de puntos, con posiciones con un ángulo de escaneo de



Arriba. Homogeneidad de color en el modelo de nube de puntos. Fotografía: Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. UPC.

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.

Con esta metodología de escaneo se reduce el ruido en el color de los puntos como se muestra en la imagen de arriba, al evitar cruzar información lejana con la cercana, debido a la profundidad de campo, 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 de alto rango dinámico HDR (*High Dynamic Range Rendering*).

Esta sectorización del proceso de escaneo permite a su vez corregir el error generado por la diferencia de posición entre el sensor de la cámara y del escáner, evitando los elementos cercanos, ya que éstos 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 enfatiza 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.

### **El aplicativo de información ambiental**

Este se ha dividido en tres módulos: el primero en un recorrido específico, identificando 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 se muestre de manera contextualizada con respecto a la posición del usuario sobre un 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 Wi-Fi.

Finalmente, el último módulo, 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 donde se encuentra una espectacular reproducción de La Galera Real de Juan de Austria que tiene 60m. de eslora por 6,2m. 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 y 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.

### Modelo preciso

La elaboración de un modelo 3D válido para una aplicación en tiempo real no es una tarea sencilla. Es necesario que cumpla con una serie de requisitos para su 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 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.

El museo marítimo es un edificio que presenta un gran tamaño y complejidad, en el que el uso del TLS se ha presentado como única herramienta válida para realizar un levantamiento preciso en tiempos razonables para la generación de planos, alzados y secciones para la construcción de un modelo teórico. Esta tecnología ha permitido desarrollar y elaborar dos componentes importantes de los contenidos en el módulo de realidad virtual y aumentada:

- Elaboración del modelo 3D: que permitirá interacción de diferentes escenarios y complementar la realidad.
- 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 poseen 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.

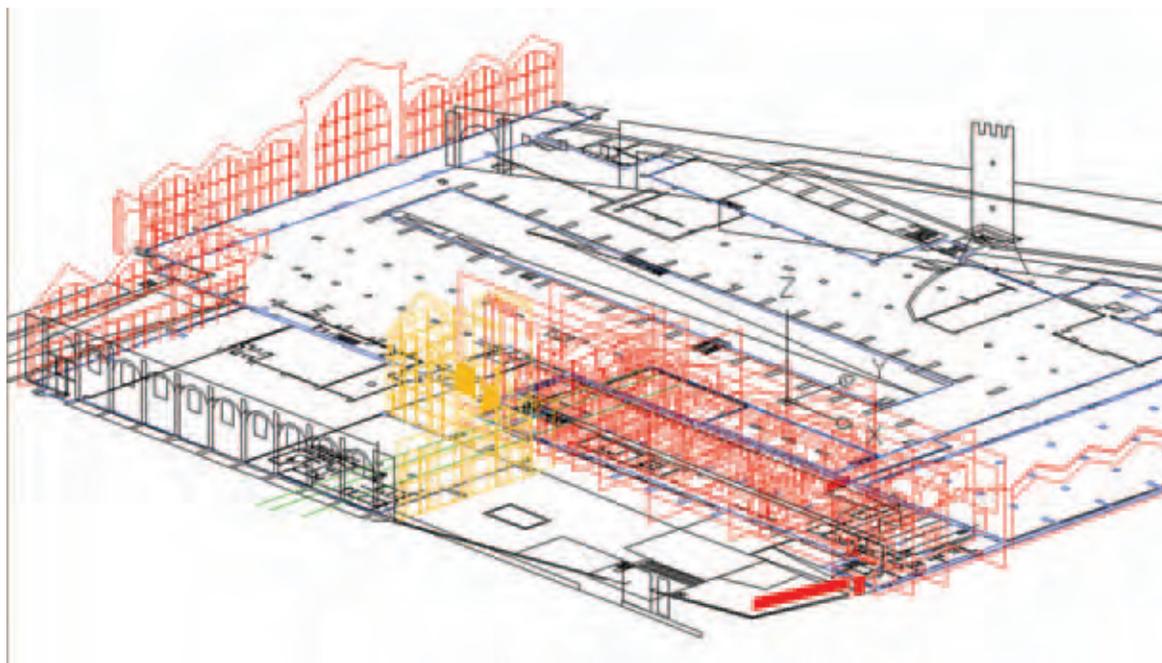
Se realizan diversas pruebas para la validación del uso del sistema desde un punto de vista dinámico. Para ello se seleccionan usuarios potenciales, generando una serie de tareas para la aplicación, monitorizando el proceso de aprendizaje y la adaptación de la respuesta motora de los usuarios. A partir de este modelo se generaron desde un visualizador *Pointools Pro 1.7*: plantas, secciones y alzados y orto imágenes de alta resolución a escala como base para la creación del modelo 3D poligonal. Estas imágenes a escala 1/100 y resolución de 100 píxeles por centímetro permiten la extracción vectorial de información.

Como elementos complementarios de precisión para el modelo geométrico que se creará posteriormente y dada la complejidad del edificio, se realizan 122 secciones verticales al modelo de nube de puntos, 97 secciones interiores y 25 fachadas, así como una planta independiente por espacio, techo y del conjunto del edificio, registrando la información planimétrica que facilita la comprensión de los espacios, identificando los cambios que se producen en cada uno de los muros, arcos, pavimentos y componentes del edificio. Este proceso permite identificar los elementos no registrables por su altura, las irregularidades, la relación entre espacios internos y con el exterior, etc. Complementario a ello se realizan secciones vectoriales básicas, con lo estrictamente necesario para el levantamiento del modelo 3D: arcos, puertas, ventanas, columnas, vigas y techos, de las diferentes secciones anteriormente explicadas.

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

Abajo. Orto imagen de la nube de puntos a escala. Fotografía: Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. UPC.





Arriba. Secciones vectoriales del modelo. Fotografía: Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. UPC.

lado. Como elemento de unión y rectificación de las secciones tanto de imágenes detalladas, como las vectoriales interpretadas, se utilizó un modelo de malla decimado (CIGNONI, 1998) 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 se realiza mediante aplicaciones de ingeniería inversa, generando un modelo poligonal de malla libre de un vértice cada 10 cm. dividido por los espacios del edificio, permitiendo su manipulación en programas de modelado. Con este modelo se reduce la precisión comparándolo con la nube de puntos, pero como éste es un modelo de apoyo, esta información se corrige mediante los vectores e imágenes previos.

### **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 logro 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, ED 1950 correspondiente a Catalunya.

#### **• 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, VOSELMAN, MAAS, 2010: 182-186) 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 solo 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.



Arriba. Modelo decimado. Fotografía: Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. UPC.

La construcción de estos volúmenes parte de la planta vectorial, complementada con entidades cerradas, que constituyen 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. Se rectifican las alturas de cada arcada entre columnas mediante las secciones vectoriales, realizadas en todos los arcos y columnas del modelo, permitiéndose la construcción de un modelo con referencia métrica precisa en puntos determinantes, siendo protagonista la malla decimada para afrontar las irregularidades del suelo y de los techos.

El exterior parte 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, 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.

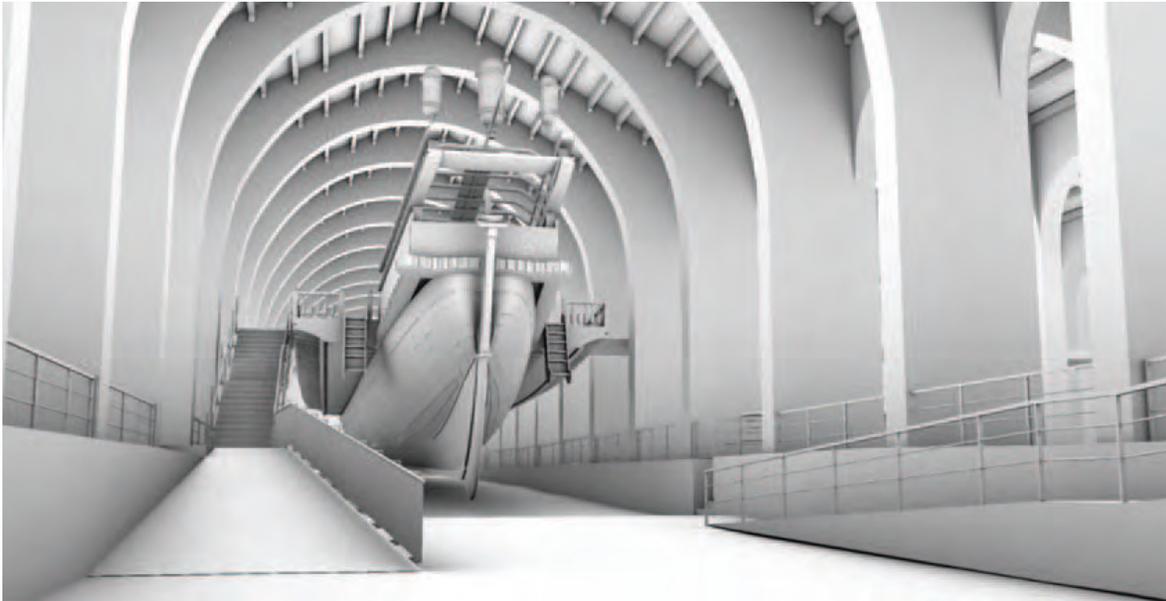
#### • Reorganización de la malla y de los mapas de UV

Los volúmenes generados en la etapa de modelado se reorganizan en base a las texturas aplicadas, manteniendo su zonificación por espacios, dividiéndolos en cuatro categorías, suelo, techo, muros y elementos, estas categorías a su vez corresponden a un material específico, en que las texturas juegan un papel trascendental, en la organización del modelo, ya que dependiendo de si son repetitivas, imágenes fotográficas, de iluminación o de detalle, cambian las características del 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 éste.

En el proceso de organización de esta información U, V, W se consideran técnicas de mapeado, usadas en geometrías complejas, ya que las platónicas, solidas, primitivas o formas regulares, pueden tener mapas proyectados automáticamente gracias a parámetros preestablecidos. También se aplican otros mapas para aumentar el realismo del modelo<sup>4</sup>, 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 pixels.



Arriba. Iluminación del Modelo 3D. Fotografía: Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. UPC.

### **Realidad aumentada**

Mediante este módulo el usuario puede observar sobre una escena de realidad aumentada, los elementos del entorno de interés, que pueden pasar desapercibidos habitualmente. Se compone de cinco partes: el motor gráfico (ÖHRN, 2008) que permite la visualización en tiempo real del modelo 3D y su interacción con los periféricos; un portátil que gestiona 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 webcam que permite visualizar el mundo real en las gafas para poderlo combinar con el modelo 3D.

La interacción del usuario con la información se realiza mediante la orientación del punto de vista para visualizar y seleccionar la información sobre los elementos de interés, en el que se sobreponen 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 muestran fichas informativas y/o videos con información multimedia.

Actualmente existen una serie de motores gráficos que permiten este tipo de visualizaciones, desarrollados fundamentalmente en la industria del videojuego, pero en el proyecto elige *Quest3D*, por su fácil interacción y capacidad de integración con paquetes libres como VRPN<sup>5</sup> (Red de Periféricos para Realidad Virtual).

El Motor gráfico: *Quest3D* es un programa bastante intuitivo en que la programación de acciones se desarrolla conectando componentes funcionales, denominados “Channels”, los que 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 *Quest3D* pueden ser posteriormente publicadas en diferentes formatos, para permitir su visualización a través de diferentes medios. 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 topolo-

gía 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.

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 son seguidores de 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 Tecnalia*.

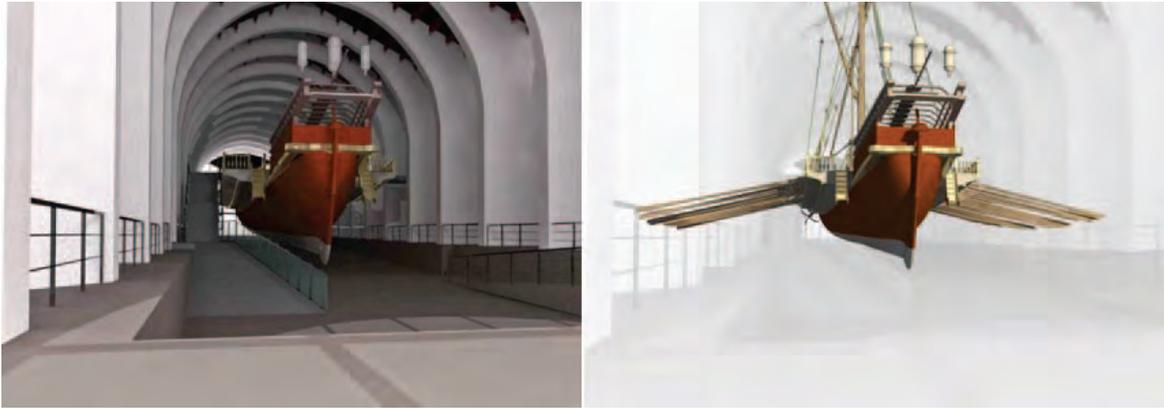
Entre las características más importantes del software, está la metodología de programación, que utiliza de forma diferente los lenguajes usuales de programación existentes, como por ejemplo el C + +. El entorno de desarrollo de *Quest3D* es casi enteramente visual. Otra de sus características más importante, es que permite al programador modificar la aplicación mientras ésta se está ejecutando. Además 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.

### **Realidad virtual estereoscópica**

Dentro de este módulo el usuario puede observar modelos virtuales 3D estereoscópicos tanto del edificio del museo en sus diferentes etapas como de la galera. Además este módulo ofrece la posibilidad de visualizar rutas predefinidas dentro del museo dando un grado más de libertad al usuario. La interacción del usuario con la información del módulo se realiza mediante la orientación del punto de vista para navegar por los diferentes modelos 3D. La selección de los modelos se realiza de manera automática mediante un control temporal. Primero se presenta el modelo 3D del museo, tal y como está en la actualidad. Posteriormente se inicia una ruta a través del habitáculo de la galera, cambiando el modelo 3D al modelo que representa cómo se encontraba el museo en su época como astillero. También se muestra la galera completa en su máximo esplendor. 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. Es posible mostrar reproducciones históricas como la Galera Real sin el edificio, con remos, mástiles y velas, o el caso inverso la Nave Central sin la Galera Real con su antigua arcada.

La interfaz de usuario es la componente que permite al usuario comunicarse con el demostrador. Al tratarse de una aplicación dirigida al gran público, la interfaz de usuario debe ser atractiva, fácil de utilizar, inteligible y dinámica, ya que será el intermediario entre el usuario y la aplicación 3D interactiva que se estará ejecutando en un PC y cuyos principales elementos son unas gafas de visión estereoscópica, un sistema de *tracking* y una Webcam. Respecto de las gafas de visión estereoscópicas, se debe aclarar que actualmente la visualización de imágenes digitales se realiza normalmente en pantallas tradicionales, en que un usuario puede ver diversas imágenes a distancias entre 50cm. y 2m., en pantallas de 10" a 55" pulgadas. La desventaja de estos sistemas de gafas 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. 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 control de datos de salida de filtrado permite la fina regulación para aplicaciones específicas. La información de la webcam 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.



Arriba. Galera y edificio, galera completa. Fotografía: Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. UPC.

### **Visualización panorámica**

Dentro de este módulo el usuario puede observar detalles del entorno de la posición en la que se encuentra dentro del museo. La visualización de estos detalles se consigue mediante la presentación de una imagen panorámica de alta resolución. Esta imagen contendrá un alto grado de detalle y permitirá al usuario acercar información inaccesible debido a su localización.

La visualización sobre zonas determinadas del panorama en alta resolución 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. La interacción del usuario con la información de este módulo se realiza mediante la orientación del punto de vista, seleccionando el detalle de interés y la realización del zoom sobre el detalle se llevará a cabo cuando el usuario centre su atención en un punto durante un par de segundos.

### **Herramienta de evaluación de rutas**

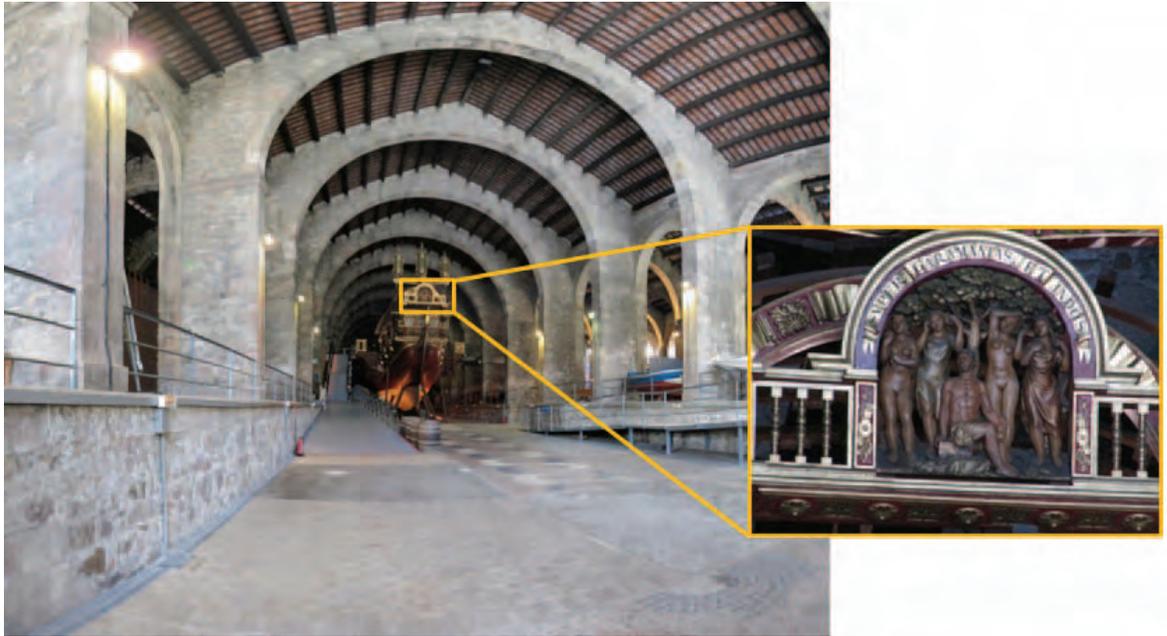
La otra aplicación ha sido el desarrollo de la herramienta de evaluación de rutas dentro del museo, denominada ACC3DE 1.0, cuyos criterios y aspectos técnicos básicos se presentan a continuación. Un aspecto fundamental en el diseño, ha sido que la herramienta sea capaz de evaluar la accesibilidad para distintas discapacidades. (en este caso movilidad, visual y auditiva) y que tenga una filosofía de evaluación que pueda ser aplicada en las funcionalidades de la misma.

La filosofía utilizada para las lógicas de evaluación, es la desarrollada y utilizada en otros trabajos previos del equipo de DDM. Estos criterios han sido validados y configurados para la evaluación de los niveles de accesibilidad, para cada uno de los grupos de discapacidad definidos previamente. Esta se fundamenta en la idea de identificar cada elemento estudiado y de características, para su anejió a uno de los siguientes grupos identificadores: obstáculo, facilitador no cómodo o facilitador.

El aspecto principal para la evaluación de cada elemento analizado son las normas UNE, no obstante, para aquellas características en las que estas normas no tengan establecidos los parámetros de medición, se consideraron los parámetros adoptados por la mayoría de las normativas autonómicas en materia de accesibilidad. Cabe destacar, que debido a que la herramienta tiene como objetivo el análisis de la accesibilidad a edificios patrimoniales, y debido a la complejidad de adecuar estos edificios y entornos a las normas actuales de accesibilidad, se opta por utilizar una metodología basada en la experiencia, y que permite reducir ciertos parámetros de medición, aun cuando no sean estrictamente correctos siguiendo las normas descritas.

#### **• Definición de las rutas de evaluación de la accesibilidad**

Como se tienen los modelos 3D, se decide trabajar en la elaboración de las rutas vectoriales sobre dichos modelos, pero previamente se realiza una visita al Museo, de tipo crítico, en la que se evalúan los aspectos de control que se deben incluir en la herramienta. Se plantea que las rutas deben abarcar la totalidad de las zonas de



Arriba. Detalle del zoom en panorama. Fotografía: Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. UPC.

visita del museo, en su área de exposición permanente y de servicios y que a su vez deben considerar todos los tipos de elementos existentes y con posibilidad de ser evaluados.

Finalmente éstas deben ser suficientemente representativas. Así es que deciden nueve rutas con las que se trabaja posteriormente y que son las siguientes: ACCESO ESCALERA: desde el acceso de la calle hasta la entrada principal por la escalera; ACCESO RAMPA: desde el acceso de la calle hasta la entrada principal por la rampa; ACCESO INTERIOR: desde la entrada principal hasta la recepción; ACCESO SALA: desde el punto de información hasta el acceso a la primera sala; EXPOSICION VARIABLE: desde el acceso de la primera sala hasta la sala principal; EXPOSICION PERMANENTE: desde el acceso de la sala principal hasta el final del recorrido; ACCESO SERVICIO: desde la sala principal hasta los servicios; PASARELA SUPERIOR: desde el pie de escalera hasta la pantalla de realidad aumentada y CAFETERIA SOUVENIRS: desde el patio de acceso hasta la cafetería y tienda souvenirs.

#### • **Elaboración de bases vectoriales**

Esta etapa consiste en la digitalización en formato vectorial de las rutas definidas, directamente del modelo 3D y en la designación de los códigos de identificación de cada uno de los elementos que componen cada ruta. Mediante programas de diseño asistido por computador CAD (AutoCAD) y sobre una imagen a escala 1/100, generada mediante la tecnología de escáner laser terrestre, se establecen las rutas como líneas en formato vectorial de cada recorrido, con capas para cada uno, según el código de la ruta, tomando como información de altura la información directa de los puntos extraídos de la nube de puntos.

Esta información vectorial se importa en SIG (ArcGIS), tanto de forma gráfica, como de forma numérica, manteniendo la información de capas de cada recorrido, de código de cada tramo, de la información de inicio y fin de cada tramo en el espacio y permitiendo de forma automática establecer las dimensiones de cada tramo al igual que su pendiente, estructurada en un formato de tabla de datos, de extensión \*.xls vinculada a la información gráfica. Finalmente, una vez dibujadas, se pueden superponer sobre la planta del museo. Obtenida del modelo 3D.

Simultáneamente a este proceso se ha realizado la toma de valores directamente, trabajando sobre las rutas digitalizadas en formato vectorial y sobre el modelo 3D, realizando una toma de datos directos, como son las coordenadas “x”, “y” y “z” de cada punto inicial y final de tramo de recorrido, las pendientes, etc. Posteriormente se trabaja en la generación la base alfanumérica de datos, en la determinación de su estructura de relación y en la incorporación de los valores a cada tabla. Al definir la estructura de datos, se considera la estructura de la información y los tipos de elementos definidos, y vistas las rutas definidas que se incorporarán al prototipo de la Herramienta ACC3DE, se define la estructura de tablas que se incorporarán en el sistema, tipos de



Arriba. Imágenes 2D de las rutas sobre la planta del edificio del museo. Fotografía: Centro de Política de Suelo y Valoraciones. UPC.

elementos y una propuesta de características. Así se define la siguiente estructura de tablas: RUTA, TIPO, ELEMENTO, CARACTERÍSTICA\_ACCESIBILIDAD, ELEMENTO\_CARACTERÍSTICA y ELEMENTO\_RUTA

- **Módulo de cálculo y visualización de la accesibilidad**

Éste recoge la información de esta base de datos para, realizar un cálculo de la accesibilidad de las rutas para cada tipo de discapacidad, y visualizar una representación 3D esquemática de las rutas y su accesibilidad. La imagen de la derecha muestra este proceso.

- **Interface gráfica de usuario**

Esta interface gráfica, en el contexto persona-ordenador, es la pantalla de visualización y de trabajo diseñada para el usuario y en este caso se fundamenta en el visor 3D, que consiste en la aplicación tecnológica interactiva que permite, mediante el uso y representación del lenguaje visual, una acción amigable con un sistema informático. Normalmente las acciones de trabajo se realizan mediante la manipulación directa para facilitar la interacción del usuario con la computadora. En este caso concreto, la representación de las rutas y su accesibilidad se realiza en el visor 3D, incrustado en la aplicación. Dicha representación es esquemática y lineal y la accesibilidad de ruta se representa mediante una línea que sigue el recorrido de la ruta. Dicha línea toma un color distinto en función de la accesibilidad acumulada en ese punto, y para el tipo de discapacidad seleccionado. Todo esto se implementa mediante un código de colores. La accesibilidad de cada elemento se representa mediante una caja semitransparente que lo rodea, y que toma distintos valores de color, siguiendo el mismo código de colores utilizado para las rutas.

El módulo de visualización 3D se acompaña de un mapa 2D que representa una vista en planta del edificio, sobre la que se presenta la ruta seleccionada para el diagnóstico de su accesibilidad. Esta información es accesible en todo momento a través de la pestaña correspondiente (2D). Para cada ruta disponible se puede visualizar un vídeo que contiene un vuelo virtual a través de la misma. Dicho vuelo se realiza sobre el modelo virtual del entor-



Arriba. Flujo de trabajo en la elaboración de la herramienta ACC3DE 1.0. Fotografía: a partir de GARRIDO; EGUSQUIZA; MARAMBIO; DEL MORAL, 2009: 4.

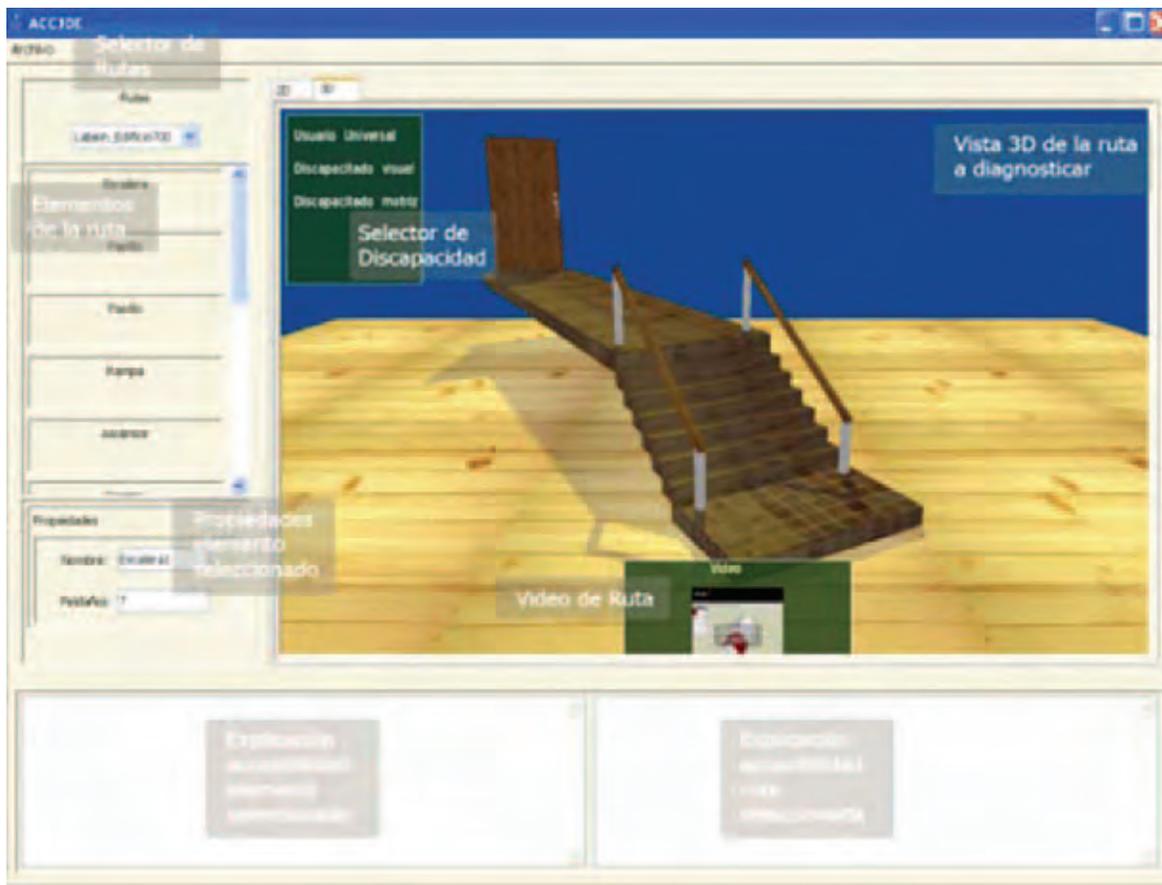
no obtenido mediante el escaneado láser. Las tecnologías utilizadas en el módulo cálculo y visualización de accesibilidad son: wxWidgets; librería para el desarrollo de aplicaciones gráficas de escritorio, OGRE; motor gráfico libre orientado al desarrollo de aplicaciones gráficas; y la librería de acceso sencillo a orígenes de datos SimpleDB.

### Comentarios finales y trabajo futuro

El desarrollo del módulo de realidad aumentada ha permitido probar distintas tecnologías disponibles, de coste normal en un dispositivo fácilmente transportable capaz de interpolarse en cualquier otro entorno de carácter patrimonial. De la metodología propuesta para la elaboración de este módulo podemos destacar la elección del 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 esta 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.

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 estero 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.



Arriba. Interfaz de usuario de la herramienta ACC3DE 1.0. Fotografía: ACC3DE 1.0.

En lo referente a la aplicación generada ACC3DE 1.0, ésta se planteó como una herramienta de apoyo a gestores del patrimonio histórico, con lo cual era fundamental una correcta definición y desarrollo de los conceptos y los criterios de estructura y evaluación, que finalmente fueron utilizados en la elaboración de la aplicación. Al utilizar el TLS para obtener información veraz sobre el entorno real, dicha información resulta crucial para calcular la accesibilidad del edificio y en su conjunto entrega una valiosa aportación en la estructura de organización y consulta de los datos relativos a los edificios y entornos patrimoniales, así como en la posible evaluación futura de transformaciones concretas. Esta posibilidad anterior viene definida por las posibilidades de las herramientas SIG, que combinadas con el 3D y las bases de datos relacionales, a efectos de gestión y explotación de datos edificatorios y constructivos, que permiten en su conjunto la mejora del procedimiento de obtención, entrada y mantenimiento de datos con una alta capacidad de verificación y exactitud.

La herramienta utiliza la tecnología de realidad virtual, combinada con los SIG y las bases de datos relacionales, para presentar la información de accesibilidad al usuario, haciendo que el diagnóstico sea más sencillo, manipulable y entendible. Con la introducción de la tecnología de las bases de datos en el flujo de trabajo, la herramienta consigue ser reutilizada para el estudio de la accesibilidad de distintos edificios históricos. Una de las innovaciones de la metodología desarrollada es la inclusión del valor patrimonial, de forma sencilla y directa, como valor decisivo a la hora de evaluar la accesibilidad, considerando además la importancia que éste tiene y la facilidad de ponderarlo en una única tabla de contenidos.

Mediante la utilización del escáner láser se consigue una gran cantidad de información y la metodología aprovecha esta ventaja, para realizar un diagnóstico de accesibilidad preciso. Con el uso de herramientas de ingeniería inversa y generando orto imágenes de nubes de puntos se optimiza el tiempo de post proceso. Además ha sido muy importante el trabajo de programación de rutinas específicas, además de la posibilidad de generar subrutinas que son de mucha utilidad a efectos de conocer cuestiones relativas a los aspectos positivos y los puntos negros, como la herramienta cálculo de la accesibilidad específica.

## Bibliografía

- BOEHLER, W. "Investigating laser scanner accuracy". En: *sixth cipa symposium*, (2003, antalya, turquia). Pp. 189-195.
- BUILL POZUELO, F. y NÚÑEZ ANDRÉS, M. A. (2008): "aplicación del láser escáner terrestre para levantamientos arquitectónicos, arqueológicos y geotécnicos" en *mapping interactivo*. Marzo de 2008. Issn: 1.131-9.100. [Http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=1472](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1472)
- CIGNONI, P.; MONTANI, C. y SCOPIGNO, R. (1998): *A comparison of mesh simplification algorithms, computer and graphics*, vol 22, no. 1, pisa, 1998. Pp. 37-54.
- COMAS, D. y RUIZ, E. (1993): *fundamentos de los sistemas de información geográfica*. Editorial ariel s.a., Barcelona. 1993. Pág. 28.
- GARCIA ALMIRALL, P. y BIERE, R. (2004): "estudis urbans amb tecnologia informàtica sig". *Research paper 6*. Centro de política de suelo y valoraciones, cpsv - upc. Barcelona 2004. Isbn. 84-8157-411-2.
- GARRIDO, R.; EGUSQUIZA, A.; MARAMBIO, A. y DEL MORAL, C. (2009): "escaneado láser y realidad virtual para el diagnóstico de accesibilidad de entornos de patrimonio histórico". En *jorevir 2009*. Barcelona. Pág. 4).
- ÖHRN, T. *Different mapping techniques for realistic surfaces*. Director: sharon a lazenby, tesis del department of mathematics, natural and computer science, university of Gävle, Gävle, sweden. 2008. Pp. 6-13.
- ROCA J. y MARAMBIO, A. "Modelos digitales de nubes de puntos de la Habana vieja, Cuba". En: *congreso internacional ciudad y territorio virtual 3er*, 2006, bilbao, españa). Trabajos. Barcelona, españa. Centro de política de suelo y valoraciones, universidad politécnica de cataluña, 2006. Pp 1-7. Condiciones generales.
- VOSELNMAN, G. (2010): "maas, hans-gerd, airborne and terrestrial laser scanning, whittles publishing", *latvia*, 2010. Pp. 182-186 isbn 978-1904445-87-6.

## Notas

1 "Patrimonio Accesible: I + D + i para una Cultura sin Barreras", cofinanciado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) como Proyecto Singular y Estratégico (PSE-380000-2009-2) dentro del Plan Nacional de Cooperación Público-Privado de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación. En las aplicaciones presentadas en este artículo, han participado, además de los autores, Aitziber Egusquiza, Roberto Garrido y José Luis Izakara (LBEIN), Juan Corso y Jennifer Lucena (UPC) y Consuelo del Moral (DDM Arquitectos), bajo la supervisión de María Ramirez (Geocisa) y el trabajo coordinado entre Labein-Tecnalia, el Centro de Política de Suelo y Valoraciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, DDM Arquitectos y Geocisa.

2 Acrónimo proveniente del término inglés: *Terrestrial Laser Scanner*.

3 Conocidos también por su acrónimo inglés, GIS, de la expresión *Geographical Information Systems*.

4 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.

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