

# ACE 13

Electronic offprint

Separata electrónica

## HERRAMIENTA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA ACCESIBILIDAD EN ENTORNOS DE PATRIMONIO HISTÓRICO, EN BASE A ESCANEADO LÁSER Y REALIDAD VIRTUAL: ACC3DE 1.0

ROLANDO BIERE ARENAS Y AITZIBER EGUSQUIZA ORTEGA

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno [en línea]. 2010, Año 5, núm. 13 Junio. P. 61-90

---

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

Website access: [http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles\\_n13/Articles\\_PDF/ACE\\_13\\_SE\\_12.pdf](http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n13/Articles_PDF/ACE_13_SE_12.pdf)

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/9199>

ACE

Architecture, City, and Environment  
Arquitectura, Ciudad y Entorno

©

# ACE 13

Electronic offprint

Separata electrónica

## TOOL FOR THE DIAGNOSIS OF ACCESSIBILITY IN ENVIRONMENTS OF HERITAGE, BASED IN SCANNED LASER AND VIRTUAL REALITY: ACC3DE 1.0

**Key words:** Accessibility, Virtual Reality, Laser Scanner, Heritage.

### Abstract

The diagnosis of the accessibility in heritage sites is a complex task due to the different pre-existences, not only historical, but constructive, normative and of use, among others and requires a great quantity of data of high accuracy. The methodologies of diagnosis traditionally used are sustained in carrying out verifications of normative aspects, not considering the singularity of the heritage and generally are little visual and intuitive.

The article develops basically the next questions; first the importance of the evaluation of the accessibility in buildings and heritage sites and the need for specific tools for that, afterwards the explanation of how using the TIC and specifically clouds of points obtained through terrestrial laser scanner, besides tools SIG, it is possible to develop a specific methodology of diagnosis, question that is developed explaining the criteria of design and elaboration of the tool of evaluation of the accessibility in heritage buildings; the prototype Acc3De 1.0.

ACE

Architecture, City, and Environment  
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

# HERRAMIENTA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA ACCESIBILIDAD EN ENTORNOS DE PATRIMONIO HISTÓRICO, EN BASE A ESCANEADO LÁSER Y REALIDAD VIRTUAL: ACC3DE 1.0

**BIERE ARENAS, Rolando<sup>1</sup>**  
**EGUSQUIZA ORTEGA, Aitziber**

Remisión inicial: 5-3-2010

Remisión definitiva: 1-6-2010

**Palabras Clave:** Accesibilidad, Realidad Virtual, Escáner Láser, Patrimonio Histórico.

## Resumen

El diagnóstico de la accesibilidad en entornos patrimoniales es una tarea compleja debido a las diversas preexistencias, no sólo históricas, sino constructivas, normativas y de uso, entre otras y requiere una gran cantidad de datos de alta precisión. Las metodologías de diagnóstico tradicionalmente utilizadas se sustentan en realizar comprobaciones de aspectos normativos, sin considerar las singularidades del patrimonio histórico y generalmente son poco visuales e intuitivas.

El artículo desarrolla las siguientes cuestiones; primero la importancia de la evaluación de la accesibilidad en edificios y entornos patrimoniales y la necesidad de herramientas específicas para ello, luego la explicación de cómo utilizando las TIC y específicamente nubes de puntos obtenidas mediante escáner láser terrestre, además de herramientas SIG, es posible desarrollar una metodología específica de diagnóstico, cuestión que es el tercer aspecto, donde se explican los criterios de diseño y elaboración de la herramienta de cálculo de la accesibilidad de edificios patrimoniales, prototipo Acc3De.

## 1. Introducción

Este artículo presenta un trabajo enmarcado en la definición metodológica y en el desarrollo de una herramienta para el diagnóstico de la accesibilidad en entornos patrimoniales, denominada Acc3De, concretamente de su módulo 1.0, cuya finalidad es evaluar la accesibilidad en edificios patrimoniales, mediante la ponderación de recorridos predeterminados, utilizando criterios de accesibilidad general y aspectos patrimoniales genéricos y específicos de cada edificio. El objetivo principal es presentar los conceptos y criterios utilizados en el desarrollo de la herramienta y los aspectos básicos del trabajo y del desarrollo de la misma.

---

<sup>1</sup> **Rolando Biere Arenas:** Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña. Av. Diagonal, 649, 4ª planta, 08028, Barcelona, España. [rolando.mauricio.biere-arenas@upc.edu](mailto:rolando.mauricio.biere-arenas@upc.edu)

En una primera parte se plantea, en términos conceptuales, la importancia y complejidad de la evaluación de la accesibilidad en edificios y entornos patrimoniales y la necesidad de herramientas específicas para ello y precisas en su método de evaluación. Luego se explica cómo utilizando las Tecnologías de la Información y Comunicación (en adelante, TIC) y específicamente nubes de puntos obtenidas mediante Escáner Láser Terrestre (en adelante, TLS), además de las herramientas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (en adelante SIG), es posible desarrollar una metodología específica de diagnóstico, sin embargo previo a la explicación de la metodología, se desarrolla un breve estado del arte, presentando los conceptos básicos escáner láser terrestre, de Sistemas de Información Geográfica y de sus aplicaciones al patrimonio, así como el desarrollo de algunas experiencias previas de herramientas y métodos de evaluación de la accesibilidad, en tanto trabajos de referencia para la problemática general desarrollada en el artículo.

Posteriormente se explica el desarrollo de la herramienta, y para ello se desarrollan los criterios de diseño y elaboración de la herramienta. Se explican los objetivos iniciales y se describen las etapas de trabajo y los procedimientos desarrollados en cada una de ellas; la toma de datos mediante escáner láser terrestre, la generación del modelo 3D, la definición de rutas de evaluación, la elaboración de las bases vectoriales y toma de valores, la elaboración de la base de datos alfanuméricos, la estructura de la misma y sus criterios de elaboración, así como la estructura del sistema, la elaboración de los modelos 3D, de los recorridos mediante Sistemas de Información Geográfica, los videos de los recorridos de evaluación, las consultas y las salidas generadas, etc.

Se explican además las tareas de generación de bases de datos gráficas y alfanuméricas, así como de programación, que han sido necesarias para configurar la aplicación a las necesidades del usuario, en este caso. Se explican los criterios de decisión y los procesos de creación y finalmente los aspectos básicos del funcionamiento de la aplicación, así como también los criterios adicionales que se pueden desarrollar a futuro y que permitirán al usuario disponer de una mayor potencialidad de la aplicación.

Finalmente, se plantean las principales conclusiones, algunos aspectos valorativos de las aportaciones conseguidas, algunos comentarios finales al respecto y posibles trabajos futuros.

## 2. Antecedentes

La accesibilidad es un concepto definido como la relación entre las capacidades funcionales del individuo y el entorno. En cuanto al concepto de discapacidad, el modelo social reconoce que ésta está ampliamente influenciada por el entorno en el que la persona se desenvuelve, (Bright, K. *et al.* 2004) por lo que el centro del tema de debate e intervención se desplaza desde la persona discapacitada al entorno que concentra las condiciones de discapacidad.

Las mejoras de la accesibilidad son complejas y de difícil implementación en entornos construidos hace varios siglos con criterios de diseño y exigencias completamente diferentes a los actuales, como es el caso de los entornos de patrimonio histórico. El término “Patrimonio” se refiere a todo aquello que tiene un valor universal excepcional desde el punto de vista

histórico, en el arte o la ciencia, sean monumentos, edificios o paisajes. Estos sitios están a menudo bajo la amenaza de las condiciones ambientales, de la inestabilidad estructural, del aumento del turismo y del desarrollo y la mayoría de las veces, no están apropiadamente documentados.

Cuando se plantean soluciones tendientes a la mejora de la accesibilidad de estos entornos, generalmente se entra en conflicto con aspectos como la preservación de las características formales y el valor histórico del edificio. En muchas ocasiones, la consecución del deseado nivel de accesibilidad del patrimonio construido no resulta sencilla, dado que sus posibilidades de adaptación y modificación morfológica están limitadas normativamente (LEY 16/1985), sin embargo, aunque la situación actual no exige la mejora de la accesibilidad en el patrimonio; aspectos como el económico y, sobre todo, el imperativo ético, hacen necesario el desarrollo de estrategias, productos y metodologías específicas para facilitar el acceso al patrimonio cultural de forma no discriminatoria y que sean compatibles con las exigencias del monumento.

La realidad virtual está cada vez mas introducida en las tareas cotidianas tanto de ámbito empresarial como en actividades de ocio. La representación tridimensional de información volumétrica ofrece un modo muy atractivo de presentar la información de manera que sea entendible por cualquier persona.

Entre las principales ventajas identificadas para el uso de estas tecnologías en el proceso de diagnóstico de la accesibilidad de edificios cabe destacar; la visualización realista de elementos constructivos (puertas, rampas, escaleras, etc.) y las condiciones del entorno (iluminación, tipo de pavimento, etc.), la presentación de diferencias de nivel en las rutas (peldaños, escaleras, rampas, etc.) y la visualización de los elementos y rutas del edificio desde diferentes puntos de vista de forma continua y fácil de usar.

El uso del escáner láser terrestre en las tareas de diagnóstico de accesibilidad es un paso innovador desarrollado en este trabajo y que presenta varias ventajas, entre las que destacan la precisión y cantidad de datos obtenidos en poco tiempo, y la posibilidad de realizar distintos análisis (pendientes, superficies, etc.).

Esta tecnología es de gran utilidad para determinar algunos de los parámetros base de accesibilidad, ya que el modelo de nube de puntos denso con color generado permite la obtención de cualquier medida del entorno, así como la interpretación de materiales a través del color.

En el entendido que se pretende explicar los criterios y el desarrollo de una herramienta basada en SIG y cuyos datos son obtenidos, mediante escáner láser terrestre, es que se realiza una breve contextualización de ambas tecnologías.

## 2.1 *El escáner láser terrestre (TLS) y sus aplicaciones en patrimonio*

El TLS es un instrumento topográfico que permite obtener, en un tiempo relativamente breve, gran cantidad de medidas en forma de millones de coordenadas espaciales en el sistema de referencia propio del instrumento. Con la repetición de las medidas, tomadas desde distintas

posiciones sucesivamente y su posterior unión en un único sistema de referencia a través del reconocimiento de puntos homólogos, es posible obtener 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.

Figura 1. Nubes de puntos en blanco y negro y con aplicación de color



Fuente: Elaboración propia del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC,<sup>2</sup> de la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.

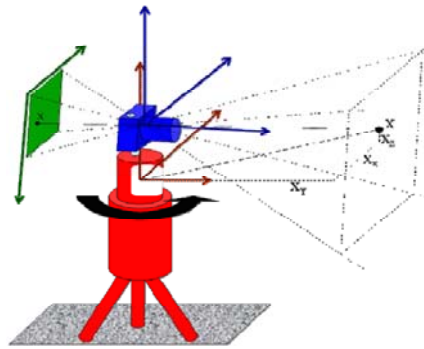
El levantamiento láser puede, así, ser distinguido de los levantamientos tradicionales por el tiempo en que se muestrea el mundo físico, ya que los dispositivos de escáner láser pueden hacerlo en tiempos que eran anteriormente imposibles de conseguir, dando por resultados datos de alta definición y que posibilitan generar bases de datos muy extensas. “El sistema láser escáner 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” (Buill y Núñez, 2008).

El escáner laser mide y guarda no solo la distancia al objeto, sino también el valor de la ‘reflectancia’ respecto de éste. La medida puede realizarse de dos modos, mediante el método de tiempo de vuelo, o bien mediante sistemas basados en la triangulación óptica. El primero de ellos consiste en medir la distancia a partir del tiempo que tarda un fotodiodo en emitir y detectar una luz láser, utilizando para el cálculo de la distancia, el método de diferencia de fase, basado en la transmisión de la luz láser modulada, por otra parte el segundo (triangulación óptica) se basa en el cálculo de las coordenadas espaciales a partir de la intersección directa, situando el diodo emisor (escáner láser) en un extremo del sistema y en el otro extremo el diodo receptor (cámara de vídeo CCD), por lo que necesita una única cámara.

<sup>2</sup> El Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad fue creado en el año 2000, como iniciativa del Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV) y de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB), e impulsado por los departamentos de Construcciones Arquitectónicas I y de Expresión Gráfica en la Arquitectura. Su objetivo principal es ofrecer una integración de las nuevas tecnologías en el estudio, visualización y modelización de la ciudad. Desde su creación se han desarrollado, entre otras, tareas de investigación y desarrollo de usos y aplicaciones de la tecnología de láser escáner i SIG en el registro del Patrimonio Arquitectónico. (<http://www-cpsv.upc.es/lmvc/index.htm>)

El escáner de tiempo de vuelo, mide el tiempo que tarda un impulso del laser en salir del sensor, llegar al objeto y regresar, calculando así la distancia de cada punto del panorama, permitiendo así una alineación virtual de un panorama de cámara digital con la nube de puntos, mediante una co-alineación de sensores, debido a que la cámara está integrada en el instrumento.

Figura 2. Referencia de la posición del escáner y la cámara respecto de la realidad



Fuente: BARNEA, 2008. Pág. 746.

El escáner láser, en combinación con otras técnicas de documentación digital y tradicional, ofrece una solución útil para la documentación de todas las características espaciales y geométricas. Esta información no es sólo un registro de alta precisión del sitio, que puede servir como archivo histórico para la posteridad, sino que proporciona una amplia base de datos para los administradores de los sitios (arqueólogos y conservadores), permite la supervisión de aquellos donde es necesario realizar trabajos de restauración para garantizar su integridad física, y además, facilita el acceso de una manera virtual, a una audiencia más amplia a través de un medio digital como puede ser internet.

Actualmente, el escáner láser es una tecnología que se utiliza para la creación de modelos 3D de objetos históricos, reproduce la realidad directamente como puntos espaciales con alta densidad, en tiempo real, en un entorno digital, proporcionando información métrica y radiométrica. Sin embargo, la reconstrucción precisa de las superficies de este modelo de nubes de puntos no organizados derivados de los datos obtenidos por el escáner láser es un campo de investigación todavía no resuelto. Por lo general, en todas las aplicaciones de patrimonio cultural, se requiere un modelo poligonal que pueda satisfacer la demanda de alto nivel de modelado y visualización. Los polígonos suelen ser la forma ideal de representar con exactitud los resultados de las mediciones, proporcionando una óptima descripción, pero en algunos casos, la transición de una densa nubes de puntos a una modelo poligonal en arquitectura es un proceso complejo, impreciso y laborioso.

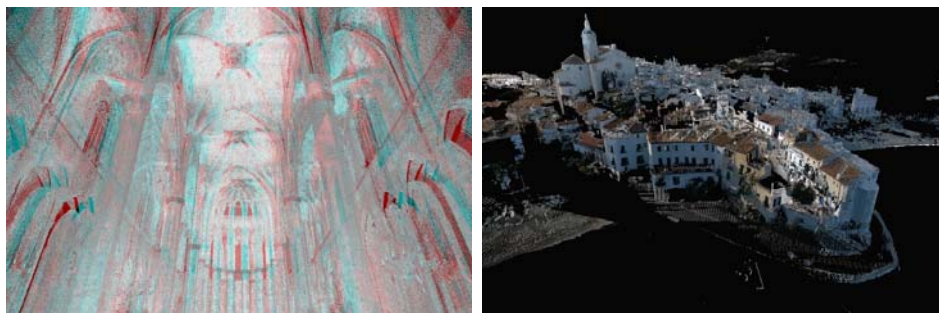
Mientras que la generación de modelos digitales del terreno tiene una larga tradición y ya se han encontrado soluciones eficientes, el correcto modelado de superficies cerradas o los objetos de forma libre es de carácter reciente, siendo un problema importante en las actividades de investigación en este sector. El proceso para la generación de superficies a partir de los datos que toma el escáner láser puede usar un algoritmo diferente en cada paso,

por lo general los puntos tienen una estructura desorganizada, a menudo tienen ruido y además la superficie puede ser arbitraria, con topología desconocida y formas complejas, y esto implica, el uso de varios programas. Por lo tanto, el método de reconstrucción debe deducir la geometría correcta, la topología y las características de un conjunto finito de puntos de muestreo.

No obstante lo anterior, el objetivo es siempre encontrar una manera de crear un modelo informático de un objeto que sirva como una herramienta útil para procesos ya establecidos, así en algunos casos, una nube de puntos de color densa puede satisfacer por completo el objetivo de un proyecto en el cual las prioridades son las siguientes: la preservación de características métricas, la generación de planos arquitectónicos a escalas determinadas en un entorno CAD, y finalmente la reproducción virtual de la realidad en un modelo de alta resolución que se pueda examinar en 3D y del cual se pueda extraer información métrica, con un post proceso de datos rápido, controlable y sencillo, que además puede ser visualizado fácilmente. Los visualizadores permiten explorar el modelo y generar las vistas necesarias para una mejor comprensión del objeto de estudio. (Bonora, Colombo y Marana, 2005).

Considerando la alta precisión que entrega esta tecnología, es que se ha demostrado su gran utilidad en los procesos de reproducción del patrimonio urbano, arquitectónico y arqueológico y prueba de ello son las diversas experiencias desarrolladas desde el LMVC. En este sentido, se han realizado trabajos en los tres niveles, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 4. Modelos de la Iglesia Santa maría del Mar y del centro histórico de Sitges



Fuente: Elaboración propia del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.

## 2.2 Los SIG y su aplicación en patrimonio

“A mediados del siglo pasado surge una corriente en el estudio de la Geografía que propone nuevos 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”. (García y Biere, 2004). El principio básico de un SIG es el de relacionar elementos gráficos georeferenciados en el territorio con información alfanumérica específica y que permite vincular datos, relacionarlos entre sí y operar en un contexto espacial



específico. La información del sistema esta georeferenciada y se puede trabajar con información propia, así como vincularse, mediante conexiones con Servidores de Mapas Web (en adelante, WMS)<sup>3</sup>, con datos externos de carácter público, generalmente de instituciones relacionadas con diferentes aspectos de gestión del territorio. “Los SIG se constituyen como 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 y Ruiz, 1993).

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”. (García y Biere, 2004).

Se debe entender que dato espacial o georeferenciado es el elemento básico de un SIG y realmente lo es, 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.<sup>4</sup> La correcta organización de los componentes de un SIG y la coordinación de las actividades de sus usuarios y recursos físicos, lógicos y económicos garantiza su buen funcionamiento, sin embargo se requiere para ello un importante influjo inicial de recursos y un adecuado desarrollo de las capacidades y recursos operativos tanto tecnológicos como humanos. Asimismo un importante esfuerzo de estructuración de los datos de entrada con los que se alimentara la base de datos del sistema.

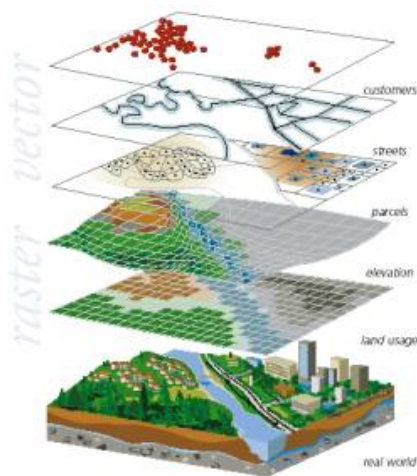
Para facilitar el acceso y visualización a la información de un SIG, éste la organiza en capas independientes, posibles de trabajar, modificar y actualizar separadamente, sobre cada una de las cuales se representa un tipo determinado de objetos espaciales, como se muestra en la Figura 5. Al representar cada capa temática un tipo específico de elementos de la realidad, como se muestra en la figura 6, es que 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.

---

<sup>3</sup> Acrónimo proveniente del término inglés *Web Map Servers*.

<sup>4</sup> En este punto del desarrollo se debe destacar la importancia de las coordenadas en el caso de una nube de puntos del escáner laser, que para el desarrollo trabajo al que refiere este artículo, entrega las coordenadas precisas que se integran en el SIG vectorial de los recorridos sobre los cuales se evalúa la accesibilidad.

Figura 5. Representación de capas temáticas de un SIG, ráster y vectoriales

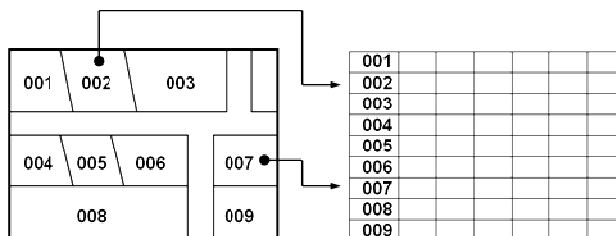


Fuente: <http://www.infoecologia.com/images/aplica1.jpg>

Los datos espaciales de un SIG, pueden entenderse como un conjunto de mapas de un determinado trozo del territorio en que cada uno representa una variable temática específica como red vial, hidrografía, ocupación de suelo, divisiones administrativas, topografía, etc. “Un SIG es un mapa digital con muchas capas o temas, en cada una se recoge un aspecto de la realidad de una zona geográfica tales como los ríos, los usos de suelos, las cubierta vegetal, las infraestructuras, etc.” (Moldes, 2002).

La estructura estratificada de los datos espaciales como objetos de una determinada capa, es una forma de representación que se aproxima a un modelo de la realidad, sin embargo debe ser claramente especificada con información sobre la posición o localización absoluta de los objetos (coordenadas X e Y), sus relaciones topológicas o localización relativa en función de otros elementos y sus relaciones y finalmente sus atributos. A su vez, la información en un SIG se compone de datos geográficos y alfanuméricos, es decir de una base cartográfica, mapa digital que contiene los datos gráficos con la localización, coordenadas “x” e “y” de cada elemento y de una base de datos alfanumérica que integra los campos específicos de las características y atributos de cada entidad gráfica, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Esquema de códigos de asociación entre bases alfanumérica y cartográfica



Fuente: GARCIA y BIERE, 2004. Pág. 32.

La incorporación de los SIG en este ámbito de los estudios patrimoniales permite tener un catálogo pormenorizado de edificios y zonas históricas y mejorar su gestión tanto a nivel de mantenimiento y valoración como de optimización de uso y adecuación a las necesidades de la propiedad. El hecho de tener bases de datos de las propiedades de manera individualizada permite ingresar la calificación de los edificios protegidos y conocer estado, propietario, etc. De manera de generar intervenciones para su mantención, conservación, restauración, etc.

### 2.3 Algunas herramientas de evaluación existentes

Tradicionalmente la evaluación de la accesibilidad orientada hacia personas con diferentes capacidades se ha basado en auditorías que utilizan como herramienta las check-list para comprobar el cumplimiento de los requisitos de accesibilidad, en la mayoría de los casos coincidentes con los de la normativa. Una de las desventajas más evidentes de este tipo de metodología es que no tienen en cuenta la calidad del acceso, y el diagnóstico se reduce a un valor absoluto: accesible o no, sin indicar cuánto de accesible. Para superar las limitaciones de esta aproximación de sí/no, se han definido métodos, como por ejemplo el marco para la evaluación de la accesibilidad desarrollado por Church y Marston en 2003, en el que se incluyen, además de la verificación de cumplimiento, una serie de formas clásicas de evaluar la accesibilidad, determinando así una 'accesibilidad relativa'. Esta metodología proporcionaba una medición más sistemática y precisa y suponía una herramienta para medir el impacto de las mejoras de accesibilidad suponiendo una ayuda a la toma de decisiones. Una de las más interesantes innovaciones de esta metodología, para su aplicación en entornos patrimoniales, es el hecho de que por primera vez se incluye la medida de la 'Atractividad' para la evaluación de la accesibilidad de personas discapacitadas. Tener en cuenta este valor es fundamental cuando se valora la accesibilidad a bienes culturales, históricamente únicos. La traslación de esta metodología al ámbito de la edificación la realizaron en el marco del proyecto POLIS (Sakkas y Pérez, 2006).

La tecnología del escáner láser ha sido utilizada para crear mapas de pendientes y verificar rutas óptimas entre dos localizaciones (Roca y Marambio, 2006), así como para identificar obstáculos físicos entre las rutas posibles, dentro de un conjunto histórico (Marambio, Redondo y Garcia, 2007).

Durante los últimos años se han elaborado distintas metodologías de diagnóstico de la accesibilidad, sin embargo son pocos los aplicativos desarrollados, que las utilicen para facilitar las labores de intervención. Uno de estos es un sistema de evaluación de accesibilidad remoto para edificios construidos, basado en la creación de modelos 3D del entorno a partir de fotogrametría y que está centrado en la accesibilidad para usuarios de sillas de ruedas en entornos domésticos (Kim y Brienza, 2006). Existen además herramientas centradas en facilitar las auditorías de accesibilidad en nueva edificación, como CODEBUDDY.COM,<sup>5</sup> o ADAAG Pro,<sup>6</sup> entre otras, que presentan y filtran información acerca de la normativa americana ADA,<sup>7</sup> en forma de texto e imágenes en 2D.

<sup>5</sup> CODEBUDDY.COM [en línea]. 2009. <<http://www.codebuddy.com>> [Consulta: 20 abril 2009].

<sup>6</sup> ADAAG Pro - ADA Accessibility Guidelines Facility Survey/Audit Compliance Testing Software [en línea]. 2008. <<http://www.adaag.com>> [Consulta: 20 abril 2009]. ADA Home Page - ada.gov - Information and Technical Assistance on the Americans with Disabilities Act [en línea]. 6 abril 2009. <<http://www.ada.gov>> [Consulta: 20 abril 2009]

Asimismo es bastante habitual el uso de herramientas SIG para la planificación de rutas accesibles. Por ejemplo, Sobek y Miller en 2006) presentan desarrollan una herramienta basada en tecnologías Web y SIG para el cálculo de rutas accesibles de usuarios con distintas discapacidades, aunque ésta se centra exclusivamente en entornos exteriores.

La herramienta presentada objeto de este artículo, llamada Acc3De, concretamente su módulo 1.0, es una herramienta de cálculo y visualización de la accesibilidad de edificios patrimoniales y su aportación se centra en la implementación de una metodología de diagnóstico que se alimenta de datos extraídos de forma semiautomática por medio de escáner láser terrestre, y presenta la información de accesibilidad a nivel de rutas y elementos de ruta utilizando gráficos en 3D, videos dinámicos y explicaciones textuales.

### **3. El caso de estudio objeto de la evaluación**

El método de diagnóstico de la accesibilidad propuesto en este trabajo se desarrolla en la herramienta ACC3DE, concretamente en el módulo 1.0, es aplicado inicialmente a un único caso de estudio que sirve como prototipo, por ello, antes de desarrollar los conceptos básicos y los criterios de diseño y desarrollo de la herramienta, es importante situar el caso de estudio como objeto válido, no sólo desde su complejidad, sino también desde su valor patrimonial.

La selección de este caso de pruebas debía ser muy cuidadosa, en tanto sería objeto de todo el proceso; desde la toma de datos mediante escáner láser, de las visitas a terreno, para determinar las problemáticas reales y definir las rutas futuras a evaluar y finalmente como caso de verificación de las problemáticas detectadas desde la herramienta, una vez desarrollada.

Desde esta perspectiva anterior, el primer paso del trabajo fue definir el caso de estudio y para ello se utilizaron los criterios definidos en el proyecto PATRAC; trabajar a escala de edificio y que éste fuera patrimonial y de uso público. Desde estas dos consideraciones se definió como caso el edificio de las Reales Atarazanas de Barcelona, que funciona como el Museo Marítimo de Barcelona, debido a sus dimensiones y complejidad y por la facilidad para la toma de datos mediante escáner laser. Además fue un elemento de consideración, su valor simbólico, ya que reúne, desde 1929 un importante conjunto de colecciones que ilustran la cultura marítima catalana y ayudan a entender el cómo y el porqué de la historia marítima del país.

“El antecedente principal del Museo Marítimo de Barcelona lo encontramos en la creación, en 1929, de la Junta de Patronato del Instituto Náutico del Mediterráneo, que a partir de 1931 impulsó la creación de un museo naval y una biblioteca especializada. Paralelamente a dicho proyecto, aunque sin conexión alguna con el mismo, la ciudad de Barcelona recuperaba las Reales Atarazanas, un conjunto cuyos inquilinos militares debían abandonar definitivamente en 1935. Aunque se trataba de dos hechos diferenciados, ya planeaba la idea de instalar un museo marítimo dentro del recinto gótico recuperado”.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> ADA Home Page - ada.gov - Information and Technical Assistance on the Americans with Disabilities Act [en línea]. 6 abril 2009. <<http://www.ada.gov>> [Consulta: 20 abril 2009]

<sup>8</sup> MUSEO MARÍTIMO DE BARCELONA. <<http://www.mmb.cat/default.asp?idApartado=103&idIdioma=2>> [Consulta: 04 diciembre 2009].

**Figura 8. Secuencia de imágenes del conjunto arquitectónico del edificio del museo**



Fuente: <http://www.mmb.cat/default.asp?idApartado=102&idIdioma=2>

El origen gótico de este edificio, su significación para la ciudad y su localización en el centro histórico de la misma, fueron elementos de decisión, también básicos al momento de definirlo como el caso estudio.

En las imágenes anteriores se presentan tres vistas del museo; el Edificio de Pere IV, la muralla medieval y Torre del s. XIII y finalmente las naves medievales, todas ellas dan cuenta de su alto valor, no solo histórico, sino también de monumentalidad y de significación en la trama urbana, cuestión que se ve claramente reflejada en la figura 9.

**Figura 9. Perspectiva isométrica del edificio del museo en la trama urbana de Barcelona**



Fuente: Elaboración propia del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. A partir de <http://maps.google.es/maps>.

En la imagen anterior se muestra la localización de alta centralidad del edificio, en la trama de Barcelona, lo que le confiere una relevancia en términos de localización y significación. Finalmente la facilidad del acceso al mismo por parte del Centro de Política de Suelo y Valoraciones, ha sido otra cuestión fundamental al momento de trabajar en la etapa de toma de datos de la realidad, mediante la utilización de Escáner láser terrestre.

## 4. Etapas del trabajo

Una vez definido el caso de estudio, se entiende como fundamental la estructuración del método, no sólo desde la perspectiva técnica, sino también desde la estructuración y organización del trabajo y por ello se definen las siguientes fases; toma de datos, generación del modelo 3D, definición de las rutas de evaluación de la accesibilidad, elaboración de las bases vectoriales, toma de valores, elaboración de la base de datos alfanuméricos, elaboración de elementos de salida multimedia y gráfica y finalmente salidas e interfaces de evaluación. A continuación se explica brevemente el desarrollo de cada etapa, a efectos de ilustrar la complejidad del sistema y la necesidad de seguir un orden lógico, para obtener finalmente una evaluación correcta de la accesibilidad, pero que pueda ser reproducida con exactitud, desde el inicio del proceso.

### 4.1 Fase 1. Toma de datos

Esta etapa consiste en la planificación del proceso de recogida de datos con el escáner láser y el trabajo de levantamiento de datos in situ, es sin duda la tarea más tediosa del proceso de diagnóstico debido a la gran cantidad de información necesaria y es quizá la más relevante para el desarrollo del proceso, en tanto las nubes de puntos obtenidas en esta etapa serán la base técnica para la construcción del modelo 3D, la definición de arquitecturas e identificación de elementos y de la posterior generación de los recorridos en formato vectorial y obtención de algunos parámetros.

Un aspecto fundamental en este procedimiento es planificación de las tomas, para lo cual se visita el museo y se realiza un mapa con las localización de las posiciones, considerando que no queden zonas sin cubrir. Ésta es realizada en un periodo de 21 días, con un total de 507 posiciones, en las que se recogen más de 4500 imágenes para la generación de las nubes de puntos, mediante las que posteriormente se obtiene un modelo 3D con un total de 782,5 millones de puntos, con coordenadas XYZ e intensidades, RGB.

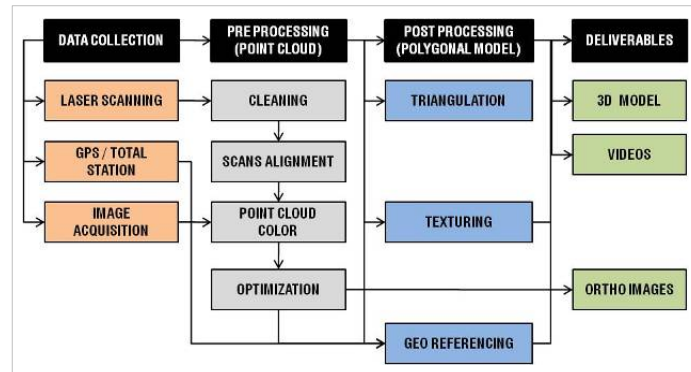
### 4.2 Fase 2. Generación del modelo 3D

Esta etapa consiste en el trabajo de pos proceso con las nubes de puntos, depuración y unión de las mismas, a efectos de obtener el modelo digital en 3D del conjunto del edificio, del que finalmente se obtienen las plantas, cortes y alzadas del edificio. Para su realización se utiliza una metodología desarrollada desde el LMVC. La figura 10 muestra la metodología del flujo de trabajo con escáner láser terrestre estándar desarrollado desde el LMVC, que se realiza después de la obtención y registro de las nubes de puntos.

Se comienza con el pre-proceso de los datos que consiste en: 'limpiar los datos', reducir ruido, redundancias y eliminar una cierta cantidad de errores introducidos por las limitaciones del dispositivo. Estas operaciones que normalmente se consideran sencillas, en realidad son una serie de pasos críticos para la correcta generación de superficies. (Polyworks, Rapidform,

Geomagic,<sup>9</sup> etc.) Además se requiere de una considerable inversión a nivel de tiempo y energía, especialmente en el caso del modelado de proyectos exteriores.

Figura 10. Metodología de flujo de trabajo con escáner láser



Fuente: Elaboración propia del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.

Posteriormente el conjunto de puntos se convierte en un modelo poligonal sin estructura (mallas), esta es la parte más importante en la mayoría de los programas de ingeniería inversa, este paso es semiautomático: el usuario sólo debe introducir algunos parámetros como las medidas de ángulos, longitudes de borde y la altura o el área de los elementos. Normalmente, se necesitan algunos ajustes para corregir los errores e imperfecciones de los polígonos generados y este caso no ha sido la excepción.

Estas operaciones varían desde la edición directa de polígonos a correcciones o ediciones de superficies enteras: correcciones de bordes, reducción del número de polígonos, inserción de polígonos para rellenar los agujeros, etc. En los epígrafes siguientes se explica el proceso para la generación y explotación de los modelos generados a partir de polígonos o bien el trabajo directo realizado con la nube de puntos.

#### a) Generación de modelos poligonales

En el caso de objetos de formas sencillas y superficies homogéneas, es relativamente fácil y común pasar de una nube de puntos a un modelo de mallas (mediante procesos de ingeniería inversa), pero no se puede decir lo mismo para gran cantidad de datos y formas complejas, típicos de levantamientos a escala urbana. Además con el fin de visualizar grandes conjuntos de datos, es necesario reducir la mayoría de la información contenida en los modelos 3D, con lo cual disminuye la exactitud de los datos y la baja calidad en la visualización no es atractiva para los usuarios. Los programas actuales para modelado y visualización de objetos 3D son específicos para determinados tipos de datos, un programa de visualización completo debería

<sup>9</sup> Softwares específicos de trabajo para modelado 3D, con los que se cuenta en el LMVC para realizar los trabajos de modelado a partir de nubes de puntos obtenidas desde escáner láser.

prever la posibilidad de importar, exportar y visualizar diferentes formatos de imágenes 3D así como los datos de sus respectivas texturas.

Resumiendo, los problemas a los que nos enfrentamos en el proceso estándar de elaboración de los datos propuesto son; que se requiere un alto conocimiento de programas específicos de edición de polígonos y mallas, el tiempo necesario para mallar formas irregulares y extensas, que la reducción de puntos que esta operación implica conlleva una pérdida de información métrica, la dificultad de gestionar millones de polígonos en plataformas no son específicas para este tipo de aplicaciones y el coste de los programas comerciales de ingeniería inversa.

Por lo tanto la investigación, en el caso de modelado a escala urbana de datos proporcionados por un escáner laser, está hoy enfocada a la generación de modelos 3D a partir de nube de puntos que sean suficientemente detallados y al mismo tiempo gestionables en varias plataformas: en entornos CAD para generar plantas, alzados, secciones, en visualizadores que permitan “navegar” e inspeccionar el modelo 3D en tiempo real, y en otros entornos donde se pueda integrar estos tipo de informaciones con datos como por ejemplo DTM generados con herramientas GIS, modelos 3D realizados con programas de diseño automático para simulaciones y representaciones virtuales en contextos reales.

#### b) Generación de modelos de nube de puntos

La solución planteada utiliza nubes de puntos densos con color, no sólo como datos de entrada sino como datos de salida del proceso e información final. Por lo tanto el post proceso de los datos se reduce a la eliminación de la información no deseada, el ruido, la proyección del color (proporcionado por una cámara digital calibrada) sobre los puntos, la alineación y registro de las posiciones del escáner y la optimización (de resolución) del modelo generado. Luego los modelos que se reconstruyen son realistas y métricos, no hay una gran pérdida de datos, las características geométricas se mantienen sin introducción de errores de interpretación típica de la fase de modelado de superficies y, por lo tanto, se consideran como una herramienta útil para la documentación y la protección de edificios históricos.

Otra ventaja del método, es que los programas utilizados para el proceso ofrecen también una solución para la gestión de varios tipos de datos, es decir que es posible la integración de datos laser con otro tipos de información, posibilitando la importación de modelos 3D a partir de una serie de formatos estándares, por lo que es posible visualizar entornos reales (nube de puntos) y virtuales (modelos 3D) en una única plataforma. Es importante destacar entonces, que las nubes de puntos obtenidas utilizando la metodología y la tecnología explicadas, permiten obtener directamente y con detalle las imágenes en color, como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Nubes de puntos y modelos de fachadas, interiores y patios del museo



Fuente: Elaboración propia del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC

#### 4.3 Fase 3. Definición de las rutas de evaluación de la accesibilidad

En esta etapa se realizan visitas críticas al edificio del Museo, en las que se evalúan los aspectos de control a incluir en la herramienta, gracias a los que finalmente se deciden las rutas que serán evaluadas. Se planteó que éstas deben abarcar la totalidad de las zonas de visita del museo, en su área de exposición permanente y de servicios y a su vez considerar todos los tipos de elementos existentes y con posibilidad de ser evaluados. Finalmente que estas deben ser suficientemente representativas y que así mismo deben servir de modelo para una ampliación de la herramienta, considerando los criterios aplicados a cada una de ellas.

Así se deciden las nuevas rutas con las que se trabajó 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, *exposición variable*: desde el acceso de la primera sala hasta la sala principal, *exposición 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 pantalla de realidad aumentada y *cafetería souvenirs*: desde el patio de acceso hasta la cafetería y tienda souvenirs.

#### 4.4 Fase 4. Elaboración de las bases vectoriales

Esta etapa consiste en la digitalización en formato vectorial de las rutas definidas, directamente desde el modelo 3D y en la designación de los códigos de identificación de cada uno de los elementos que componen las rutas. Mediante programas de diseño asistido por computador CAD (Auto CAD) y sobre una imagen ráster a escala 1/100, generada mediante la tecnología del TLS, se establecen las rutas en formato vectorial, en capas independientes, según el código de la ruta, tomando utilizando para el cálculo de las alturas, la información directa de los puntos de la nube de puntos.

Esta información vectorial se importa en sistemas de información geográfica SIG (ArcGIS), tanto de forma grafica, como alfanumérica, manteniendo la información de las capas de cada

recorrido, de código de tramos, de la información de inicio y fin, permitiendo de forma automática establecer sus dimensiones, su pendiente y otros datos, estructurados en formato de tabla vinculada a la información gráfica y finalmente, una vez dibujadas todas, éstas se superponen a la planta del museo, obtenida directamente del modelo 3D, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Rutas vectoriales sobre planta del museo en formato ráster



Fuente: Elaboración propia del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC

#### 4.5 Fase 5. Toma de valores

En esta etapa se trabaja 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 los puntos inicial y final de cada tramo, las pendientes, etc. La información de la ruta se obtiene directamente de la nube de puntos en tres dimensiones, generada a partir de la toma de datos del escáner laser terrestre RIEGL z420i.

El proceso parte mediante la identificación de cada tramo del recorrido, realizando secciones sobre el modelo en tres dimensiones, para identificar los cambios de altura en estos tramos lineales, permitiendo anexar al modelo puntos específicos de los elementos y cambios de altura en las coordenadas. Una vez acabado el proceso de toma de valores se obtienen una tabla con los códigos de cada elemento, desde los que se extrae la información de base que se incorpora en la base alfanumérica de datos, como se muestra en un trozo de tabla en la tabla 1, en que se detallan las coordenadas y el cálculo de las pendientes.

Tabla 1. Rutas vectoriales sobre planta del museo en formato ráster

Nombre	Ruta	X	Y	Z	X2	Y2	Z2		Pendiente
E001	R001								
E002	R001	106,34	7,12	0,46	104,82	12,25	0,55		1,68 %
E003	R001	104,82	12,25	0,55	103,98	15,00	-0,88		49,73 %
E004	R001	103,98	15,00	-0,88	101,42	23,06	-1,05		2,01 %
E005	R001	101,42	23,06	-1,05	100,83	25,05	-1,02		1,45 %
E006	R001	100,83	25,05	-1,02	98,32	33,06	-0,87		1,79 %
E007	R001								
E008	R002								
E008	R002	127,28	27,33	0,39	108,17	26,81	-0,99		7,22 %
E010	R002	108,17	26,81	-0,99	98,32	33,06	-0,87		1,03 %

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Fase 6. Elaboración de la base de datos alfanuméricos

En esta etapa se trabaja en la generación de las tablas componentes de la base alfanumérica de datos, en la determinación de su estructura de relación de datos y en la incorporación de los valores a cada una de ellas. Al definir la estructura de datos, se considera la estructura de la información y los tipos de elementos definidos,<sup>10</sup> y vistas las rutas que se incorporarán al prototipo de la Herramienta Acc3De, se define la estructura de las tablas que se incorporarán en el sistema, tipos de elementos y una propuesta de características que es discutida y validada por Labein, DDM arquitectos y la propia UPC.

Los criterios son, simplicidad del sistema, su flexibilidad, fácil incorporación de requerimientos futuros y los requerimientos de las rutas que serán evaluadas en el prototipo inicial. Así se define la siguiente estructura de tablas; *ruta*, *tipo*, *elemento*, *caracteristica\_accesibilidad*, *elemento\_caracteristica* y *elemento\_ruta*, cuyos contenidos se detallan a continuación.

La tabla RUTA contiene las nueve rutas definidas inicialmente y todas las sucesivas que se quieran incorporar. Contiene el identificador de la ruta; ID\_RUTA, el nombre de cada ruta; NOMBRE, la descripción de cada una, DESCRIPCIÓN, en que se explica brevemente el recorrido de la misma y el identificador del elemento de final de cada una ID\_ELEMENTO, como se muestra en la tabla siguiente.

<sup>10</sup> En este proceso se utilizan los criterios definidos por Consuelo Del Moral, de DDM, entre otros especialistas.

**Tabla 2.** Estructura de datos de la tabla RUTA

ID_RUTA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ID_EL
R001	ACCESO ESCALERA	Desde acceso de calle hasta entrada principal x esc	E007
R002	ACCESO RAMPA	Desde acceso de calle hasta entrada principal x ram	E011
R003	ACCESO INTERIOR	Desde entrada principal hasta recepción	E017
R004	ACCESO SALA	Desde punto de información hasta acceso primera s	E029
R005	EXPOSICION VARIABLE	Desde acceso primera sala hasta sala principal	E039
R006	EXPOSICION PERMANENTE	Desde acceso de sala principal hasta fin recorrido	E054
R007	ACCESO SERVICIO	Desde sala principal hasta servicios	E067
R008	PASARELA SUPERIOR	Desde pie de escalera hasta pantalla Realidad V.	E073
R009	CAFETERIA SOUVENIRS	Desde patio acceso hasta cafetería y tienda	E080

Fuente: Elaboración propia.

La tabla TIPO contiene los tipos de elementos definidos, para ello se revisan los recorridos que se evaluarán y las características del caso de estudio y se llega a la definición de 12 tipos de elementos. La estructura de la tabla contiene el identificador del tipo de elemento; ID\_TIPO, el nombre del tipo de elemento; NOMBRE y la descripción, DESCRIPCIÓN, en que se explica brevemente que se entiende por cada uno de ellos.

La tabla ELEMENTO contiene tantos registros como elementos existentes en el total de las rutas a evaluar. En el caso de las nueve rutas definidas existe un total de 80 elementos. Contiene el identificador de cada elemento; ID\_ELEMENTO, el nombre de cada elemento; NOMBRE, la descripción de cada uno, DESCRIPCIÓN, el identificador del tipo de elemento, ID\_TIPO, previamente definidos en la tabla TIPO, y finalmente los valores de uso y patrimonial, como valores de ponderación, denominados VALOR\_USO y VALOR\_PATRIMONIAL respectivamente.

Es importante explicitar que los campos de valor de uso y de valor patrimonial, son campos que se completan con información subjetiva, que surge de la propia experiencia del equipo de trabajo de la UPC, complementada con los criterios del equipo de DDM Arquitectos. Se debe indicar además que son dos aspectos básicos al momento de generar las fórmulas de evaluación de la accesibilidad, ya que en el caso de valor patrimonial es exclusivamente aplicable a los edificios con dichas características que son el objetivo final de aplicación de la herramienta.

La tabla CARACTERISTICA\_ACCESIBILIDAD contiene las características definidas para ser evaluadas y al estructurarla, se definen 62 características. Contiene el identificador de cada característica; ID\_CARACTERISTICA, el nombre; NOMBRE y el tipo de dato; TIPO DATO, que es el que permite vincular con las otras tablas dentro de la estructura global del sistema.

Las características definidas no son directamente aplicables a todos los tipos de elementos, por ello se realiza una determinación de aplicación y validación de ellas para cada tipo y se generan tablas específicas para cada uno.

La tabla ELEMENTO\_CARACTERISTICA contiene todas las características asociadas a cada uno de los elementos existentes y lo más importante de ella es el valor de cada característica.

La estructura de la tabla contiene el identificador de cada elemento; ID\_ELEMENTO, el identificador de cada características asociada; ID\_CHARACTERISTICA y el valor; VALOR.

La tabla ELEMENTO\_RUTA contiene todos los elementos que existen, asociados a cada una de las rutas que se evalúan y la información adicional, en los casos que corresponda, que informa de sentidos, entradas, etc. La estructura de la tabla contiene el identificador de cada elemento; ID\_ELEMENTO y el campo de información; INFORMACION\_ADICIONAL.

#### *4.7 Fase 7. Elaboración de elementos de salida multimedia y gráfica*

En esta etapa se trabaja en la elaboración de los videos descriptivos de las rutas evaluadas, creados directamente desde el modelo 3D y en la elaboración de las imágenes 2D de las rutas. La animación se genera en el programa pointools a partir de la nube de puntos, mediante marcadores de la posición de la cámara en relación con los tramos del recorrido, con la dirección y el enfoque a la altura de una persona orientada al punto siguiente del recorrido.

Los videos se realizan con el códec “cinepak”, con la extensión \*.mov, con 30 cuadros por segundo y una resolución de 1024x720 HD. También se aplica un filtro de “antialiasing”, ya que se usa el tamaño de punto mínimo que permite el programa, para obtener una mayor resolución del detalle. En cualquier caso los videos finales tiene la extensión \*.avi, que es compatible con diversas plataformas de visualización

Las imágenes se realizan con el programa pointools, a una resolución de 100 pixeles por centímetro, de forma ortogonal, combinando imágenes en las que el modelo se secciona a diferentes distancias, para lograr identificar la profundidad de las plantas y de las secciones, haciendo más clara la información más lejana y como valor más oscuro la información de sección de las paredes, columnas o el suelo, entre otros, permitiendo una interpretación arquitectónica de los plano.

#### *4.8 Fase 8. Salidas e interfaces de evaluación*

En esta etapa se trabaja en los criterios de diseño de las salidas que harán parte de la herramienta y en los criterios de integración de los elementos de salida. Lo más importante en términos de definición es que la interface fuese una aplicación de escritorio y que las salidas de la misma fueran altamente visuales, por ello, la utilización de las imágenes en 2D de las rutas y de la generación de los videos de las mismas. A efectos de que la interface tuviese una lógica de fácil visualización, se decide además trabajar con modelos abstractos de cada tipo de elemento.

Se decide tanto, que las imágenes como los videos fuesen elementos de visualización de las rutas, y que estuviesen disponibles una vez seleccionada, en la aplicación, la ruta a evaluar, así como que los elementos descritos pertenecientes a cada ruta se viesen independientes con sus características específicas y simultáneamente al modelo abstracto de la ruta conjunta.

Finalmente se decide que la evaluación de las rutas debe permitir mostrar de forma fácil y rápida con código de colores la evaluación final de cada una directamente sobre los modelos abstractos.

## 5. La herramienta Acc3De: módulo 1.0

En este apartado se explican los criterios decididos para la evaluación, entre los cuales el primordial es que la herramienta debía ser capaz de evaluar la accesibilidad para distintas discapacidades, por lo que se deciden tres iniciales; de movilidad, visual y auditiva. Asimismo se explica la filosofía de evaluación y los criterios de desarrollo aplicados, así como las funcionalidades de la misma.

### 5.1 Filosofía de evaluación de la herramienta

La filosofía utilizada en la elaboración de las lógicas de evaluación, fue desarrollada y utilizada en trabajos previos por el equipo de DDM. En este caso, los criterios previos existentes son validados y configurados para la evaluación de los niveles de accesibilidad en la herramienta, para cada uno de los tres grupos de discapacidad definidos y la filosofía final se fundamenta en identificar cada uno de los elementos estudiados y sus características, para su anexión a uno de los tres grupos identificadores; obstáculo, facilitador no cómodo ó facilitador.

El aspecto principal para la evaluación y medición de cada uno de los elementos analizados 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 optó por utilizar una metodología basada en la experiencia, y que permite reducir determinados parámetros de medición, aún cuando no sean estrictamente correctos siguiendo las normas UNE. A continuación se explican brevemente los tres grupos identificadores establecidos y los parámetros de medición.

a. *Obstáculo*: Se trata de aquel grupo identificador con un nivel de accesibilidad que no cumple con los parámetros mínimos necesarios para la utilización del elemento o espacio estudiado. El rango de medición para que cada una de las características analizadas pertenezcan a este grupo identificador es el de concebir como inaccesible ó peligroso el uso del elemento objeto de estudio. Su valor se define como 0 para el cómputo general de accesibilidad.

b. *facilitador no cómodo*: Es el grupo identificador intermedio, y es el nivel mínimo que tienen que cumplir los parámetros para que el elemento o espacio analizado pueda utilizarse. No obstante, como su nombre indica '*no cómodo*', se decide reducir los parámetros hasta el mínimo posible para poder usar los elementos o espacios como seguros, pero no con un cierto

grado de comodidad. Su valor se define como 1 para el cómputo general de accesibilidad, aún cuando no se llegue a los parámetros establecidos por las normas UNE.

c. *Facilitador*: Se trata del grupo identificador con un nivel de accesibilidad que cumple con todos los parámetros establecidos por las normas UNE. Como los parámetros establecidos por estas normas son superiores a los definidos, en base a la experiencia, como válidos para la utilización de estos elementos o espacios, se afirma que todos los elementos identificados como *'facilitadores'* podrán ser utilizados de forma segura y cómoda para los diferentes grupos de discapacidad estudiados. Su valor se define como 1 para el cómputo general de accesibilidad.

## 5.2 Elementos y características para el diagnóstico

De todos los elementos de ruta existentes en un entorno patrimonial identificados en la metodología, se ha seleccionado un subconjunto formado por aquellos que resultan más relevantes para el diagnóstico de la accesibilidad, ya sea por su importancia en la accesibilidad del entorno, su valor de uso, o su frecuencia de aparición. Así, se descartan elementos como ventanas, guardarropa, salas de oficina y otros sin relevancia y se definen sólo los siguientes; *puerta, punto de atención, punto de venta, pasaje, elemento expositivo, escalón, escalera, aseo, aparcamiento, rampa, ascensor/plataforma elevadora y entrada/salida.*

Para cada tipo de elemento, se han seleccionado aquellas características físicas, de las identificadas en la metodología, que más directamente intervienen en su evaluación de accesibilidad.

## 5.3 Escáner láser y método de extracción de características

Para la obtención de las características que permiten realizar el diagnóstico de accesibilidad se propone automatizar dicha obtención en la medida de lo posible. Con este objetivo se utiliza el escáner láser para la obtención de la nube de puntos de alta resolución que permite identificar las geometrías y algunos de los parámetros característicos de los elementos del entorno. Este proceso se completa con la recogida de información in-situ relativa al resto de características. Actualmente es un proceso manual que debe semiautomatizarse en un futuro mediante el uso de herramientas móviles de ayuda a la recogida de información in-situ.

Un visualizador permite la extracción de información del modelo de puntos, ya sea como extracción de medidas por un usuario o de forma semiautomática en programas de ingeniería inversa, que permite la clasificación del modelo a través de curvaturas, alturas, etc. De esta manera se realiza el cálculo de pendientes y se obtienen valores reales de los elementos arquitectónicos, como anchos, alturas y desniveles, entre otros.

#### 5.4 El desarrollo de de la aplicación

La herramienta Acc3D3e se fundamenta en los criterios de diagnóstico de accesibilidad explicados previamente y para ello se define una estructura con tres aspectos principales.

Figura 13. Esquema síntesis de la herramienta Acc3De y su módulo 1.0



Fuente: GARRIDO, EGUSQUIZA, MARAMBIO, y DEL MORAL. 2009. Pág. 4

Los tres aspectos básicos de la herramienta son los siguientes:

- a. *Sistematización de toma de datos*: La recogida de la información del entorno, como se ha descrito previamente, es la tarea más tediosa del proceso de diagnóstico debido a la gran cantidad de información necesaria. Acc3D3e plantea la utilización de escáner láser para la definición de arquitecturas, identificación de elementos y obtención de algunos parámetros.
- b. *Metodología de diagnóstico*: Representa la lógica del sistema, en ella se recogen los elementos y parámetros críticos de accesibilidad así como los criterios para el diagnóstico de elementos y rutas.
- c. *Visualización y edición de información de rutas y elementos de diagnóstico*: Es el módulo con el que el usuario interactúa con el sistema. Visualmente se presenta al usuario la información recogida estructurada para el diagnóstico de la accesibilidad. La información se presenta en un entorno 3D interactivo con posibilidad de visualización de información a nivel de elemento y ruta. Este es el módulo concreto de las interfaces de salida 2D y 3D del sistema.

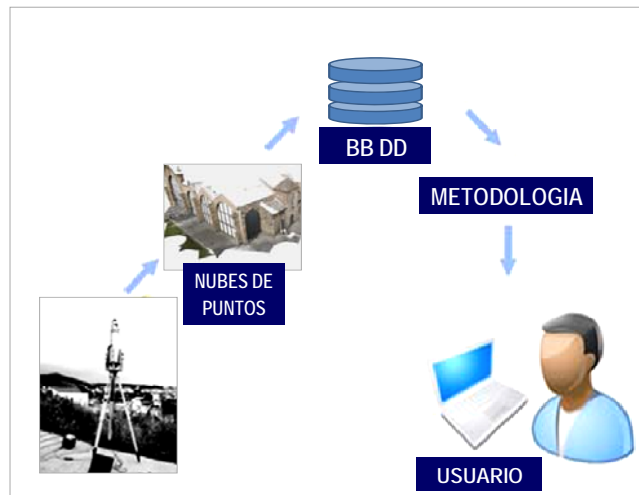
El flujo de trabajo para el diagnóstico de la accesibilidad se definió como un proceso secuencial dividido en etapas. En primer lugar, se realiza un escaneado láser del entorno patrimonial a diagnosticar. De esta forma se obtiene información real sobre distintos parámetros que determinan la accesibilidad, como distancias, pendientes, alturas, elementos de apoyo, etc.

La información obtenida en este paso se estructura y se almacena en una base de datos. Dicha información se guarda a nivel de elementos, se definen también en este momento las rutas junto con los elementos que componen cada una de ellas. El módulo de cálculo y visualización de la accesibilidad, recoge la información de esta base de datos para, por un lado, realizar un cálculo de la accesibilidad de las rutas para cada tipo de discapacidad, y por otro, visualizar



una representación 3D esquemática de las rutas y su accesibilidad, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 14. Flujo de trabajo en la elaboración de la herramienta Acc3De



Fuente: Elaboración propia a partir de GARRIDO, EGUSQUIZA, MARAMBIO, y DEL MORAL. 2009. Pág. 4

## 5.5 Metodología de diagnóstico

Si una metodología adecuada y precisa es necesaria para la evaluación de las condiciones de accesibilidad de cualquier entorno construido como soporte a la toma de decisiones, (SAKKAS y PÉREZ, 2006) es especialmente importante cuando el objeto a estudiar es algo único, sensible y de altísimo valor cultural, documental e histórico. En este sentido la metodología de diagnóstico propuesta intenta superar algunas de las dificultades existentes al momento de implantar mejoras de accesibilidad en edificios y entornos patrimoniales. Una de la cuales es conseguir una mínima intervención, de manera haya la mínima alteración de los valores patrimoniales del edificio o entorno. Así ésta, se fundamenta en otras metodologías existentes y se plantea como una evolución de las mismas y su adaptación a la problemática específica de los entornos patrimoniales. Concretamente se ha trabajado con dos metodologías: BAM-POLIS (SAKKAS y PÉREZ, 2006) y el Método de Verificación de la Accesibilidad en los Edificios de Concurrencia Pública de Usos Docente y Residencial Colectivo Hotelero. (DEL MORAL, 2006)

*“La metodología BAM-POLIS realiza una aproximación numérica a la accesibilidad y posibilita definir elementos y combinarlos. Por otra parte, el Método de Verificación de la Accesibilidad en los Edificios de Concurrencia Pública de Usos Docente y Residencial Colectivo Hotelero parte de tres premisas previas: hay que tener en cuenta las necesidades de utilización del medio a diagnosticar por parte de todos los colectivos de personas con discapacidad, los parámetros observados han de compararse tanto con la normativa de accesibilidad en vigor en cada CC.AA. como con las normas UNE1 de accesibilidad elaboradas y publicadas hasta el*

*momento, y finalmente, para cuantificar el peso de cada parámetro en la metodología, hay que tener en cuenta las características arquitectónicas y urbanísticas del espacio a diagnosticar.”<sup>11</sup>*

La metodología resultante utiliza, una estructura adaptada de ambas metodologías, aplicadas específicamente a los aspectos patrimoniales y añadiéndole el valor patrimonial como valor crítico al momento de evaluar la accesibilidad. Se basa en entender el edificio como un proveedor de servicios que se conectan mediante rutas, que a su vez están compuestas por elementos predefinidos y la evaluación de la accesibilidad se calcula considerando el grado de accesibilidad de cada elemento, que entregará a su vez la accesibilidad de cada servicio y ruta.

Finalmente la accesibilidad global del edificio será la suma ponderada de todos los servicios según una prioridad establecida valorando su valor funcional y patrimonial. De esta forma, existe la posibilidad de establecer ‘servicios críticos’ de alto valor patrimonial cuya inaccesibilidad volverán el edificio en su totalidad inaccesible. La identificación de estos ‘servicios críticos’ deberá realizarse para cada edificio patrimonial en particular. De esta manera, el cálculo de la accesibilidad final de un edificio patrimonial para un tipo de discapacidad se formula, según se indica en la fórmula siguiente.

Figura 15. **Fórmula de cálculo de accesibilidad final en edificio patrimonial para un tipo de discapacidad**

$$A_{EP,dis} = \left( \prod_{sc \in SC} b_{sc} \right) \sum_{s \in S} P_s A_{s,dis}$$

Donde:

$$\sum_{s \in S} P_s = 1$$

A<sub>EP,dis</sub> = Accesibilidad del edificio patrimonial según discapacidad.  
 sc = Servicio crítico del edificio  
 SC = Conjunto de servicios críticos del edificio patrimonial  
 b<sub>sc,dis</sub> = Valor binario del servicio crítico (b=0 o b=1)  
 s = Servicio del edificio patrimonial  
 S = Conjunto de servicios del edificio patrimonial  
 P<sub>s</sub> = Prioridad del servicio (la suma de todas la prioridades debe dar igual a 1)  
 A<sub>s,dis</sub> = Accesibilidad del servicio según discapacidad

Fuente: GARRIDO, EGUSQUIZA, MARAMBIO, y DEL MORAL. 2009. Pág. 6

## 5.6 Cálculo y visualización de la accesibilidad

La utilización de la realidad virtual y de modelos 3D permite representar de una forma más intuitiva, fácil y atractiva la accesibilidad. El módulo de cálculo y visualización de la accesibilidad hace uso de los gráficos en 3D y 2D para mostrar al usuario una representación de la ruta, y la accesibilidad asociada a dicha ruta, para distintos tipos de discapacidades.

El módulo de visualización y cálculo de accesibilidad se alimenta de la base de datos desarrollada, que contiene la información sobre las rutas, los elementos que forman cada ruta, y las características de accesibilidad de cada elemento. Con esta información, éste módulo calcula la accesibilidad de cada elemento y de cada ruta, para las tres discapacidades seleccionadas. La información de accesibilidad generada es almacenada de forma persistente utilizando XML (Extensible Markup Language).

<sup>11</sup> GARRIDO, EGUSQUIZA, MARAMBIO, y DEL MORAL. 2009. Pág. 5.

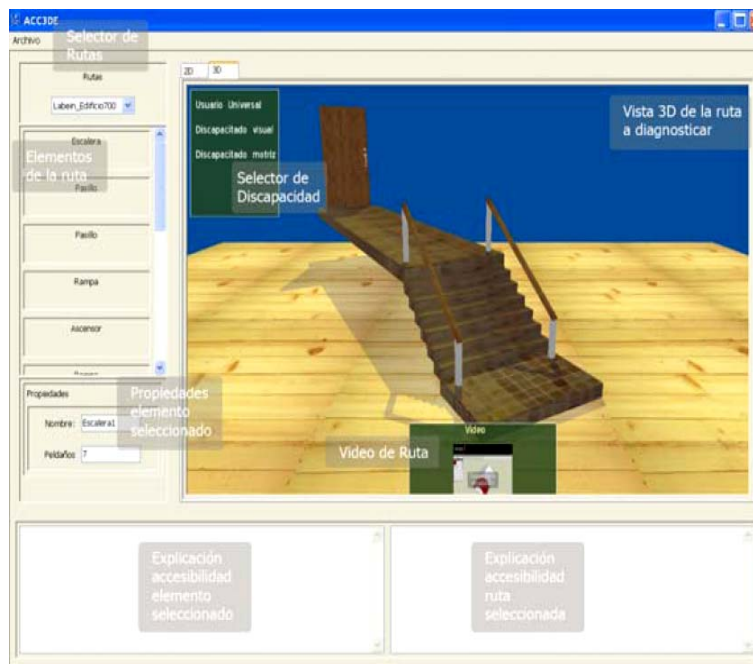
## 5.7 La interfaz gráfica de usuario

En el contexto persona-ordenador, es la pantalla de visualización y de trabajo diseñada para el usuario y 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 el ordenador.

En este caso, 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. Toda la información de accesibilidad está disponible también en modo texto, y se muestra en los distintos paneles que contiene la interfaz de usuario, como se muestra en la figura siguiente. Además, se muestran iconos de señales de peligro sobre aquellos elementos de ruta que no cumplan alguna de sus características de accesibilidad más críticas.

Figura 16. Interfaz de usuario del módulo 1.0 de la herramienta Acc3De



Fuente: Acc3De 1.0

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 entorno obtenido mediante el escaneado láser.

Las tecnologías utilizadas en el módulo cálculo y visualización de accesibilidad son: wxWidgets;<sup>12</sup> librería para el desarrollo de aplicaciones gráficas de escritorio, OGRE;<sup>13</sup> motor gráfico libre orientado al desarrollo de aplicaciones gráficas; y la librería de acceso simple a orígenes de datos SimpleDB.<sup>14</sup>

## 6. Conclusiones

Es importante enfatizar que este artículo ha presentado el desarrollo de una herramienta de apoyo a gestores del patrimonio histórico, el prototipo Acc3De 1.0, basado en datos obtenidos mediante tecnologías de escáner láser para obtener información veraz sobre el entorno real, la que es fundamental para modular los datos de accesibilidad al edificio y por ello 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.

La información del escáner láser ha resultado ser crucial para calcular la accesibilidad y en su conjunto entrega una valiosa aportación en la estructura de organización y consulta de los datos relativos a los edificios patrimoniales, así como en la posible evaluación futura de transformaciones concretas. Con el uso de herramientas de ingeniería inversa y generando orto imágenes de nubes de puntos se optimiza el tiempo de post proceso de los datos de entrada, necesarios para los cálculos futuros.

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 en su conjunto permiten la mejora del procedimiento de obtención, entrada y mantenimiento de datos con una alta capacidad de verificación y exactitud y por otra parte compartir información existente y facilitar la busca o consulta de la información de cada elemento por separado.

La herramienta utiliza la tecnología de realidad virtual, combinada con los SIG 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, que pueden integrarse en la herramienta, siguiendo el protocolo de

---

<sup>12</sup> <<http://www.wxwidgets.org>>

<sup>13</sup> <<http://www.ogre3d.org>>

<sup>14</sup> <<http://simpledb.sourceforge.net>>

generación de datos, que se ha establecido como parte básica de la metodología implementada. Se ha hecho un esfuerzo por entender la estructura de funcionamiento y del recorrido interno de los datos con el fin de generar una aplicación útil para el uso de patrimonio, pero que también sea de utilidad futura para otros ámbitos, edificios y entornos diversos.

Algunos de los beneficios de la metodología propuesta son: la posibilidad de localizar puntos negros donde intervenir, de una forma mínima y eficaz; la posibilidad de obtener una documentación exhaustiva antes de la intervención; y la adaptación a la heterogeneidad de los edificios históricos. Una de las principales innovaciones de la misma es la inclusión del valor patrimonial como valor decisivo a la hora de evaluar la accesibilidad.

Mediante la utilización del escáner láser se consigue una gran cantidad de información, ventaja aprovechada por la metodología, para realizar un diagnóstico de accesibilidad preciso.

El diseño flexible y modular de la herramienta permite extender sus funcionalidades. En este sentido, se han desarrollado posteriormente algunas mejoras que no son parte de este artículo, pero que se mencionan, en tanto se ha desarrollado con posterioridad: la edición de rutas sobre la vista 3D, la que permitiría recalcular la accesibilidad simulando intervenciones en la ruta que se visualiza; utilizar en la representación de la ruta un modelo que represente más fielmente la realidad, aunque esto supone un importante reto, ya que se debe analizar una nube de puntos con gran cantidad de datos.

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 este tiene y la facilidad de ponderarlo en una única tabla de contenidos. 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.

Es importante hablar de la posibilidad que genera el visor 3D de generar salidas de impresión específicas e informes concretos de elementos y rutas e incluso del conjunto del edificio. Finalmente se estima que la aplicación desarrollada es de gran utilidad y especialmente importante en tanto tiene un gran potencial de expansión a evaluar de rutas urbanas y entornos patrimoniales complejos.

## Agradecimientos

Este artículo ha sido posible, gracias a los trabajos realizados de forma coordinada entre Labein-Tecnalia, el Centro de Política de Suelo y Valoraciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, DDM Arquitectos y Geocisa, y está parcialmente financiado por el Ministerio de ciencia e innovación a través del proyecto singular y estratégico PATRAC. "Patrimonio Accesible: I+D+i para una cultura sin barreras". (PSE-380000-2008-3), cuyo principal objetivo es el desarrollo de estrategias, productos y metodologías para facilitar el acceso, contemplación y captación de contenidos del patrimonio cultural español de forma no

discriminatoria y que resulten compatibles con las exigencias del monumento. En la elaboración del prototipo han trabajado, además de los autores, José Luis Izakara y Roberto Garrido (LABEIN), Alejandro Marambio y Juan Corso Sarmiento (UPC) y Consuelo del Moral (DDM Arquitectos), bajo la supervisión de Geocisa.

## Bibliografía

ADA Home Page - ada.gov - Information and Technical Assistance on the Americans with Disabilities Act [en línea]. 6 abril 2009. Disponible en: <<http://www.ada.gov>>. [Fecha de Consulta: 20 abril 2009].

ADAAG Pro - ADA Accessibility Guidelines Facility Survey/Audit Compliance Testing Software [en línea]. 2008. Disponible en: <<http://www.adaag.com>> [Fecha de Consulta: 20 abril 2009]

BARNEA, Shahar. *Segmentation of terrestrial Scanning Data by Integrating Range and Image Content*. En: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. (XXXVII, 2008, Beijing, China) [Fecha de consulta: 28 Mayo 2010]. Disponible en: <[http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5\\_pdf/130.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/130.pdf)>.

BONORA, L., COLOMBO, L. y Marana B. *Laser Technology for cross-section survey in ancient buildings: a study for S.M. Maggiore in Bergamo*. En: CIPA 2005 XX International Symposium. (20º, Turín, Italia, 2005).

BOSQUE, Joaquín. *Sistemas de Información Geográfica*. 2ª Edición. Ediciones Rialp S.A. Madrid. 2000. 451 p.

BRIGHT, K., FLANAGAN, S., EMBLETON, J., SELBEKK, L. y COOK, G. *Buildings for all to use, Improving the accessibility of public buildings and environments*. Ciria, London. United Kingdom. 2004. 210 p.

BUILL, Felipe y NÚÑEZ, Mª Amparo. *Aplicación del Láser Escáner Terrestre para Levantamientos Arquitectónicos, Arqueológicos y Geotécnicos*. Mapping Interactivo [en línea]. Marzo de 2008. [Fecha de consulta: 30 Marzo 2010]. Disponible en: <[http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=1472](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1472)>

CHURCH, R. y MARSTON, J. *Measuring Accessibility for People with a Disability*. Geographical Analysis. 35(1): 83-96, 2003.

CODEBUDDY.COM [en línea]. 2009. Disponible en: <<http://www.codebuddy.com>>. [Fecha de Consulta: 20 abril 2009].

COMAS, David y RUIZ, Ernest. *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Editorial ARIEL S.A. Barcelona. 1993. 295 p.

DEL MORAL, Consuelo. *Modelo de Verificación de la accesibilidad en los edificios de concurrencia pública de usos docente y residencial colectivo hotelero*. Editorial Universidad de Granada, Granada. 2006.

GARCIA, Pilar y BIERE, Rolando. *Estudis Urbans amb Tecnologia Informàtica SIG*. Centro de Política de Suelo y Valoraciones, CPSV - UPC. Barcelona. 2004. 95 p.

GARRIDO, Roberto; EGUSQUIZA, Aitziber; MARAMBIO, Alejandro y DEL MORAL, Consuelo. *Escaneado Láser y Realidad Virtual para el Diagnóstico de Accesibilidad de Entornos de Patrimonio Histórico*. En: Jornadas sobre Realidad Virtual y Entornos Virtuales, Jorevir (3º, 2009, Barcelona, España).

GOMEZ, Montserrat y BARREDO, José Ignacio. *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. 2ª edición. RA-MA Editorial, Madrid. 1996. 304 p.

INFOECOLOGÍA.COM [en línea]. Website, 2009. Disponible en: <<http://www.infoecologia.com/images/aplica1.jpg>>. [Fecha de Consulta: 12 diciembre 2009].

KIM, Jong y BRIENZA, David. *Development of a remote accessibility assessment system through three-dimensional reconstruction technology*. En: Journal of rehabilitation research and development, 43, 257-272, 2006.

LABORATORIO de Modelización Virtual de la Ciudad (LMVC). [en línea]. Website. Disponible en: <<http://www-cpsv.upc.es/lmvc/index.htm>>.

LEY 16/1985, de 25 de Junio, del patrimonio histórico español. Madrid. España. 1985.

MUSEO Marítimo de Barcelona. [en línea]. Website. Disponible en: <<http://www.mmb.cat/default.asp?idApartado=103&idIdioma=2>>.

MARAMBIO, Alejandro; GARCIA, Pilar y BIERE, Rolando. *Modelos urbanos de nube de puntos: levantamiento de alta precisión del casco histórico de Sitges. España*. En: Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual (4º, 2007, Guadalajara, México).

MARAMBIO, Alejandro; REDONDO, Ernesto y GARCIA, Pilar. *Urban point cloud models: 3D laser scanning of the historical centre. Tossa del mar, Catalonia*. En: Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual (4º, 2007, Guadalajara, México).

MOLDES, F. Javier. *Proyectos GIS con AutoCAD 2002, Autodesk Map*. Ediciones ANAYA Multimedia, Madrid. 2002. 272 p.

OGRE. Open Source 3D Graphics Engine. [en línea]. 2009. [Fecha de Consulta: 20 abril 2010]. Disponible en: <<http://www.ogre3d.org>>.

ROCA, Josep y MARAMBIO, Alejandro. *Aportación tecnológica al plan especial del conjunto histórico de Cadaqués: SIG y escáner láser*. En: Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual (3º, Bilbao, España, 2006).

SAKKAS, Nikos y PÉREZ, Juan. *Elaborating metrics for the accessibility of buildings. Computers environment and urban systems*. 30(5): 661-685, 2006.

SOBEK, Adam y MILLER, Harvey. *U-Access: a web-based system for routing pedestrians of differing abilities*. En: Journal of Geographical Systems, 8(3): 269-287, 2006.

SIMPLE C++ ODBC. Database API. [en línea]. 19 junio 2006. [Fecha de Consulta: 20 abril 2010]. Disponible en: <<http://simpledb.sourceforge.net>>.

WXWIDGETS. [en línea]. 2009. [Fecha de Consulta: 20 diciembre 2009]. Disponible en: <<http://www.wxwidgets.org>>.