

ACE 33

Electronic offprint

Separata electrónica

LAS TIC, HERRAMIENTAS FACILITADORAS PARA EL HABITAR Y DISFRUTE DE UNA CIUDAD SIN BARRERAS

Rolando Biere Arenas y Blanca Arellano Ramos

Cómo citar este artículo: BIERE ARENAS, R. y ARELLANO RAMOS, J. *Las TIC, herramientas facilitadoras para el habitar y disfrute de una ciudad sin barreras* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 11 (33): 219-234, 2017. DOI: 10.5821/ace.11.33.5159. ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

ACE 33

Electronic offprint

Separata electrónica

ICT, FACILITATING TOOLS FOR LIVING AND ENJOYING A BARRIER-FREE CITY

Key words: Urban accessibility; Terrestrial Laser Scanner; GIS; GPS

Abstract

Starting from the premise that one of the main objectives of any society should be to provide an accessible and barrier-free environment for all people, this article is developed. The main objective is to present a synthesis of the work carried out within the framework of the project *City whitouth barriers, tool for evaluation and visualization of accessibility to public space based on TLS, GIS and GPS technologies*. In addition is explained its main result; a tool to assess accessibility and information on optimal routes in urban environments.

For this, in a first stage the context of the accessibility situation is developed. Are presented some statistics of the characteristics of the population with functional diversity, as well as concepts such as universal accessibility. Also are indicated the contributions that the new Information and Communication Technologies (ICT) to improve the accessibility conditions.

A brief analysis is made of the current state of accessibility assessment methodologies, as well as the technologies used in the development of previous assessment tools. Then, the specific developments within the framework of the project and the results thereof are explained.

With respect to these, it is indicated the importance of performing accessibility calculations on a precision metric basis (in this case a MDT) obtained through TLS, based on previously tested parameters. Finally is explained the importance of the calculation tool of optimum routes, obtained directly as results of the evaluation parameters in all possible surfaces of both cases studied, available both in Web and App.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

LAS TIC, HERRAMIENTAS FACILITADORAS PARA EL HABITAR Y DISFRUTE DE UNA CIUDAD SIN BARRERAS

BIERE ARENAS, Rolando¹
ARELLANO RAMOS, Blanca²

Remisión inicial: 20-05-2016

Remisión final: 24-02-2017

Palabras clave: Accesibilidad urbana; Escáner Láser Terrestre; SIG; GPS

Resumen estructurado

Partiendo de la premisa que uno de los principales objetivos de toda sociedad debería ser el proporcionar un entorno accesible y libre de barreras a todas las personas, se desarrolla este artículo, cuyo objetivo principal es presentar una síntesis de los trabajos realizados en el marco del proyecto *Ciudad sin Barreras. Herramienta para la evaluación y visualización de la accesibilidad al espacio público, en base a tecnologías TLS, GIS i GPS*, así como también el explicar sus principales resultados, consistentes en herramientas de evaluación de la accesibilidad y de información de rutas óptimas en entornos urbanos.

Para ello en una primera etapa se desarrolla el contexto de la situación de la accesibilidad; presentando algunas estadísticas de las características de la población con diversidad funcional, así como abordando conceptos como la accesibilidad universal e incidiendo en las aportaciones que la nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) pueden realizar en la mejora de las condiciones de accesibilidad.

Se desarrolla un breve análisis del estado actual de las metodologías de evaluación de la accesibilidad, así como de tecnologías utilizadas en el desarrollo de herramientas de evaluación previas. A partir de las cuales se explican los desarrollos específicos en el marco del proyecto y los resultados del mismo.

Respecto de estos últimos, se incide en la importancia de realizar los cálculos de accesibilidad sobre una base métrica de precisión (en este caso un MDT) obtenido mediante TLS, en base a parámetros previamente probados, pero sobre todo se incide en el valor de la herramienta de cálculo de las rutas óptimas resultantes, directamente como resultados de los parámetros de evaluación sobre todas las superficies posibles de ambos casos estudiados, disponible tanto en Web como en App.

¹ M.Sc. Arquitecto. Investigador del Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV), del Departamento de Tecnología de la Arquitectura (TA), de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Correo electrónico: rolando.biere@upc.edu

² M.Sc. Arquitecta. Profesora asociada del Departamento de Tecnología de la Arquitectura (TA) e investigadora del Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV), de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). E-mail: blanca.arellano@upc.edu

1. Antecedentes

Uno de los principales objetivos de toda sociedad debería ser el proporcionar un entorno accesible y libre de barreras a todas las personas, con cualquier tipo de impedimento físico o diversidad funcional, para que se pueda mover con libertad, seguridad y sin ningún tipo de molestias o impedimentos. Sobre todo si se entiende la accesibilidad como un concepto amplio e integral, que abarca mucho más que la supresión de barreras. (Sala y Alonso, 2005)

La importancia de los colectivos de población con *discapacidades* o diversidad funcional motora, así como de personas de la tercera edad, con disminución de su capacidad de desenvolvimiento autónomo (Abellán y Olivera, 2004) es cada vez mayor, por lo que los espacios, la oferta y los servicios existentes en el ámbito urbano, deben adaptarse a las nuevas necesidades de la población (Alonso, 2007; López y Borau, 2011), considerando además a los colectivos con discapacidades visuales, muchas veces no incluidos en las búsquedas de soluciones urbanas de accesibilidad. En este contexto, el tema de la accesibilidad como un derecho no es una problemática exclusiva de estos colectivos, sino que debe entenderse como una problemática aplicable al conjunto de las personas (García, 2014), en que todos los ciudadanos debe tener garantizado el habitar y disfrute de una ciudad sin barreras

En términos cuantitativos, según el último censo de población de 2011 en España había una población de 46.8 millones de habitantes,³ de los cuales más de 3,5 millones padecen alguna discapacidad permanente, casi 8 millones tienen más de 70 años y casi 8,5 millones padecen alguna discapacidad o disminución temporal (INE), lo que supone que casi el 35% de la población se enfrenta a barreras de accesibilidad de manera cotidiana. Estas cifras pueden ir en aumento en las próximas décadas, si se considera el envejecimiento progresivo de la población de nuestro país. Además según datos de la ONCE (2016) hay más de 72.256 personas⁴ con problemas de visión "por diferentes causas y en diferentes niveles" y del orden de 2 millones de españoles con problemas de vista por enfermedades de la retina. Es importante destacar el aumento de estas cifras, considerando que en 1996, hace 20 años, los mismos datos de la ONCE indicaban 51.740 afiliados, respecto de los que los afiliados actuales representan un 39,65%. Si consideramos todos estos colectivos de personas, el total anterior de personas con alguna diversidad funcional asciende a casi 40% de la población, que de una u otra manera tienen problemas para enfrentar su desarrollo diario en la ciudad. En el contexto europeo en general la situación es similar; La población europea tiende hacia una diversidad funcional, cultural y territorial. (ECA, 2003)

Por todo lo anterior es fundamental aumentar el nivel de accesibilidad física, sensorial y cognitiva de los espacios urbanos (Alonso, 2007) y edificios, a la vez que establecer métodos adecuados y sistemáticos de evaluación de los niveles de accesibilidad (Del Moral y Delgado, 2010) que permitan determinar aquellos sitios específicos sobre los que es necesario realizar mejoras. Planificar un espacio libre de barreras o eliminar las existentes no es solo un ejercicio de solidaridad, sino también de ayuda para mejorar la calidad de vida de todos los colectivos afectados (Abellán y Olivera, 2004), así como también ayuda en este sentido el desarrollo de

³ 45,9 millones de habitantes, según datos actualizados a enero de 2017.

⁴ Cifra que corresponde a su número de afiliados.

herramientas de ayuda a los desplazamientos y al conocimiento del entorno en base a las nuevas tecnologías de la Información y las comunicaciones. (Biere y Egusquiza, 2010)

Se considera Accesibilidad Universal la condición que deben cumplir los entornos, bienes, procesos, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible. (LIONDAU,⁵ 2003)

La accesibilidad universal en términos de uso y disfrute del entorno puede entenderse en relación con tres formas básicas de actividad humana: la movilidad, la comunicación y la comprensión (Helios, 1995), a las que se puede añadir el uso o manipulación de los medios y objetos necesarios para el total desarrollo de las personas. Es fundamental conocer las barreras existentes, entendidas éstas como cualquier impedimento u obstáculo que limita o impide el acceso, la utilización, el disfrute, la interacción y la comprensión de manera normalizada, digna, cómoda y segura, de cualquier espacio, equipamiento o servicio urbano y es fundamental desarrollar mecanismos para su supresión (Alonso, 1999)

Desde el punto de vista legal, la LIONDAU, en vigor entre 2003 y 2013, obligaba a partir de 2011, a cumplir condiciones básicas de accesibilidad a todos aquellos productos y servicios existentes que sean susceptibles “de ajustes razonables”, término aún impreciso a que la actuación administrativa y la práctica judicial irán dotando de contenidos cada vez más exigentes (Roca, 2013). Por otra parte, el Real Decreto 556/1989⁶ establece los criterios mínimos sobre accesibilidad en los edificios, criterios especificados, asimismo, en las diferentes leyes y reglamentos de Accesibilidad de las Comunidades Autónomas.

La accesibilidad afecta a todas las actividades de la sociedad y se entrelaza en todos los campos (Alonso, 2002), un obstáculo interpuesto en cualquiera de ellos repercute de forma decisiva en el resto y esto se denomina “cadenas de accesibilidad.”

La resolución de estos conflictos, que plantea la accesibilidad universal, en viviendas nuevas y existentes y en los recorridos y entornos de la ciudad, se puede llevar a cabo desde una perspectiva de innovación y desarrollo de tecnologías, que permitan el diseño y la adaptación de nuevos sistemas y técnicas de accesibilidad a las viviendas y su entorno, respetando sus condiciones propias, así como del desarrollo de una metodología de accesibilidad que permita su implantación generalizada.

Teniendo en cuenta la legislación vigente en España y el hecho que las personas con discapacidad (o diversidad funcional) comparten los mismos anhelos y derechos que el resto de los ciudadanos respecto al acceso y disfrute de todos los espacios públicos y privados, y asumiendo el número creciente de población que padece alguna discapacidad, resulta cada vez más prioritario adaptar el entorno urbano construido a este colectivo, así como dotar de

⁵ Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad, publicada en el BOE núm. 289, de 03/12/2003, derogada por la disposición derogatoria única. b, del Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social.

⁶ Real Decreto 556/1989 de 19 de mayo, por el que se arbitran medidas mínimas sobre accesibilidad en los edificios. BOE núm. 122 de 23 de mayo.

herramientas o ayudas técnicas que sirven para la orientación ya la vez para la mejor utilización del espacio público.

Sin perjuicio de la importancia innegable de la accesibilidad para todos los colectivos afectados y de los avances introducidos por las legislaciones sucesivas, podemos mantener lo que se afirmaba en el *Libro Verde: La Accesibilidad en España* (Alonso (c), 2002) en el sentido que tanto el estado de los espacios urbanos, como de los instrumentos previstos para su configuración y regulación, muestran que todavía estamos lejos de que la accesibilidad sea una característica común en nuestras ciudades, todo y que cada vez más esta sea un requisito asumido por los planificadores y gestores de las mismas.

2. Evaluación de la accesibilidad y aplicaciones TIC

La importancia de tener entornos accesibles y su conocimiento en profundidad, de manera lo que los problemas existentes se detecten y se puedan adaptar, son algunas de las motivaciones en que se fundamenta este Proyecto y con el fin de satisfacer las utilizarán las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), las cuales presentan cada día una evolución técnica más compleja que posibilita el desarrollo de herramientas específicas o "apps" que aportan soluciones a las problemáticas de los espacios públicos, respecto de su accesibilidad y conocimiento para todos.

Tradicionalmente, la evaluación de la accesibilidad de los entornos para las personas con discapacidad se ha basado en auditorías (Alonso, 2007; Del Moral y Delgado, 2010), utilizando listas de verificación del cumplimiento de los requisitos de accesibilidad, en base a su ajuste o no a las regulaciones. Sin embargo, una de las desventajas más evidentes de este tipo de metodología es que no tiene en cuenta la calidad del acceso y el diagnóstico se reduce a un valor absoluto: definiendo si es accesible o no, sin indicar el grado real de accesibilidad de un espacio o elemento arquitectónico.

Para superar las limitaciones de este enfoque anterior, se han definido métodos específicos, tales como el *marco de evaluación de la accesibilidad* desarrollado por Church y Marston (2003), en el que además de la verificación del cumplimiento, se incluyen una serie de formas para evaluar la accesibilidad y la determinación del concepto de "accesibilidad relativa." Esta metodología proporcionó una medición más sistemática y precisa y desarrolló una herramienta para medir el impacto de las mejoras en la accesibilidad, siendo además de ayuda a la toma de decisiones. (Biere y Egusquiza, 2010) Una de las innovaciones más interesantes de esta metodología para su aplicación en sitios patrimoniales es el hecho de la medida de "Atracción" para evaluar la accesibilidad de las personas con discapacidad se incluye por primera vez. Considerar este valor es crítico cuando se valoran los activos culturales históricos, con problemas únicos de accesibilidad. Posteriormente la traducción de esta metodología al campo de la construcción fue llevada a cabo en el marco del proyecto POLIS (Sakkas y Pérez, 2006).

Por su parte, desde finales de la década de los 80, con la aparición del sistema de navegación global por satélite, GPS,⁷ ha habido un gran número de proyectos que han tratado de

⁷ Acrónimo derivado de su nombre en inglés Global Positioning System.

proporcionar una mejor accesibilidad, que implican el uso de las TIC. Estos proyectos se basan en la información de uso restringido, mediante la creación de nuestros propios mapas mentales del entorno, (Golledge *et al*, 2000) que ayudan a su mejor entendimiento, pero no siempre en una metodología integrada que a la vez genere herramientas de aproximación a la realidad in situ, cuestión que ahora es posible gracias a las aplicaciones para dispositivos móviles.

2.1 Herramientas de evaluación, experiencias previas

Desde el CPSV y el LMVC también se han desarrollado metodologías y herramientas previas de evaluación de la accesibilidad, utilizando TLS y SIG. En el marco del Proyecto PATRAC (2007-2009), Patrimonio Accesible para una cultura sin barreras,⁸ se elaboraron prototipos de pruebas de la integración de los SIG y las nubes de puntos provenientes del escáner Láser Terrestre, para evaluar el grado de accesibilidad de rutas interiores pre-definidas en edificios (Figura 1) y de rutas óptimas en entornos urbanos (Figura 2) que podían ser utilizadas tanto "in situ", como de forma remota mediante Web.

Figura 1. Análisis de rutas interiores

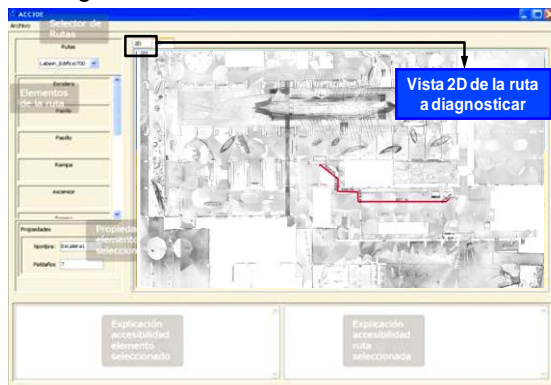


Figura 2. Análisis de rutas urbanas



Fuente: Elaboración del CPSV-LMVC en el Marco del proyecto PATRAC, Patrimonio Accesible Para una cultura sin barreras (MICINN 2007 - 2009)

En ambos caso se desarrollaron fórmulas de cálculo de la accesibilidad con información del entorno (previamente definida, parametrizada y ponderada) y su afectación sobre las rutas a evaluar (en SIG), definidas previamente de los MDT del edificio o del terreno respectivamente.

En el primero de los casos (el de escala de edificio) se trabajó con la vectorialización de rutas en GIS que articulaban un único recorrido, con nodos que correspondían siempre a dos tramos, excepto en el de inicio y finalización. Esta evaluación permitía determinar el grado de accesibilidad de cada tramo y a su vez determinar aquellos elementos arquitectónicos susceptibles de modificarse para conseguir un aumento del grado de accesibilidad de los tramos y, consecuentemente mejorar el grado de accesibilidad de las rutas afectadas. (Biere y Egusquiza, 2010)

⁸ Proyecto financiado en el marco de la convocatoria 2007 de *Proyectos Científicos Tecnológicos Singulares y de Carácter Estratégico*, del Plan Nacional de investigación científica, desarrollo e innovación tecnológica (I+D 2004-2007). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) y posteriormente Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) Ref. PS-380000-2006-2

Por su parte en el segundo (el de escala urbano) se generaba el cálculo de las rutas óptimas de accesibilidad para tres tipos de usuarios (sin discapacidad, con movilidad reducida y en silla de ruedas), sobre una malla predefinida de recorridos vectoriales, trazados en los ejes de calles del casco antiguo de *Tossa de Mar*, todos conectados siempre mediante los nodos que actuaban como puntos preseleccionados de origen y destino. (Queraltó y Valls, 2010)

Con posterioridad, en el proyecto *ITACA*, *Inteligencia ambiental para accesibilidad al patrimonio*,⁹ se llegaron a definir mecanismos de información añadida en dispositivos móviles en base a la detección de usuarios localizados delante de servicios específicos (en un ámbito museístico), respecto de los cuales la aplicación entregaba diversa información, tanto de carácter físico, como de datos agregados de utilidad para el usuario, entre otras temáticas, para informarle de los recorridos óptimos hacia los servicios específicos, las salidas de emergencia, etc. Para ello se utilizaba la monitorización de los usuarios, mediante sensores que captaban la localización de un dispositivo móvil del que disponían los usuarios de prueba, cuya finalidad última era la de visualizar la información.

3. Ciudad sin Barreras, el proyecto

La importancia de tener entornos accesibles y su conocimiento en profundidad, para una correcta detección de los problemas existentes y su posterior adaptación, son algunas de las motivaciones en que se fundamentaba el proyecto aquí presentado, denominado *Ciudad sin Barreras. Herramienta para la evaluación y visualización de la accesibilidad al espacio público, en base a tecnologías TLS, GIS i GP*.

Este se sustenta en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), que presentan cada día una mayor evolución técnica, posibilitando el desarrollo de herramientas específicas; de escritorio, Web o *Apps* para dispositivos móviles y que aportan soluciones a las problemáticas de los espacios públicos, respecto de su accesibilidad y conocimiento para todos los ciudadanos.

Su objetivo principal era el desarrollo de una metodología de evaluación de los grados de accesibilidad en el espacio público y de rutas óptimas en este sentido, así como su posterior implementación en una herramienta o "aplicación", disponible vía web y en dispositivos móviles, con el fin de facilitar la información de accesibilidad y el conocimiento de las barreras existentes en los entornos urbanos, tanto para personas con diversidad funcional, como para toda la ciudadanía.

A raíz de lo anterior se plantea la implementación de una herramienta que opere en base a una metodología y un sistema integral de información de accesibilidad, de manera que cualquier usuario que se conecte pueda acceder a la información del lugar del que requiere información o bien de aquel en que se encuentra.

⁹ Proyecto financiado por el "Ministerio de Industria Turismo y Comercio" en el marco de la Acción Estratégica de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. Subprograma Plan AVANZA I+D en su Convocatoria 1/2009. Ref. TSI-020302-2009-44

Las premisas de partida de proyectó fueron:

- Incrementar la información de accesibilidad de los espacios públicos, en base a las nuevas demandas, cambios demográficos, exigencias normativas o requerimientos de las personas de elevada edad y con discapacidades motoras o visuales, y
- Desarrollar avances tecnológicos estratégicos para poner en valor la accesibilidad universal y su información asociada, como una necesidad y un valor añadido a la ciudad.

Para la consecución del objetivo se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Establecimiento de criterios, metodologías y herramientas del diagnóstico integral del entorno, que supongan un adecuado conocimiento del nivel de accesibilidad del espacio público,
- Utilización de una metodología integral de evaluación de la accesibilidad, bajo el marco del “Diseño para todos”, que permita diagnosticar las problemáticas para la accesibilidad y proveer de información añadida a los usuarios, y
- Desarrollo de una herramienta web y de una aplicación móvil con información de accesibilidad de los espacios públicos, para usuarios con diversidad funcional motora y visual y para los usuarios en general.

Se plantea una investigación teórica y científico-técnica y los desarrollos específicos; herramienta web y aplicación móvil, aplicados a dos casos de estudio a escala de entornos urbanos, recorridos y espacios abiertos, en situaciones estratégicas y con diferentes grados de complejidad, para poder evaluar recorridos óptimos desde la perspectiva de la accesibilidad, en base a parámetros diferenciados en cada caso.

Se plantean ambos casos en Barcelona, como prototipos de prueba, que serán sometidos a procesos de validación. Es importante destacar que en estos procesos de validación (en una etapa final del proyecto), como en los procesos de detección de problemas y deficiencias del entorno se plantea trabajar directamente con la ciudadanía en general y con los colectivos afectados; mediante el contacto con asociaciones de vecinos y grupos de personas con discapacidades o diversidad funcional.

Se plantea el uso de una metodología basada en la utilización de las TIC, específicamente del Escáner Láser Terrestre (TLS), una herramienta de alta precisión que permite realizar levantamientos de la realidad de forma precisa y de alta calidad y obtener información que se puede medir de forma directa, así como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten definir la localización de los elementos de estudio situados sobre una base georreferenciada de la realidad y en un sistema de coordenadas, cuestión que posibilita establecimiento de relaciones con información externa y finalmente con la tecnología de Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Para la consecución de sus objetivos, el proyecto planteaba:

- El desarrollo de una metodología de obtención de datos de los espacios y recorridos urbanos, de su registro, tratamiento y generación de productos gráficos 2D y 3D, para mejorar su representación y el posterior tratamiento de los resultados en bases de datos y en entornos virtuales.

- Como resultado, conseguir una herramienta de evaluación de los niveles de accesibilidad y de rutas óptimas a escala urbana, según las características específicas de las personas usuarias.
- Analizar los últimos avances en inteligencia ambiental y sistemas de control de entorno para el acceso sencillo y seguro a los elementos del entorno edificado y la aplicación de estos sistemas en entornos urbanos, con los condicionantes que ello conlleva.
- Estudiar maneras de hacer más accesibles los entornos urbanos, adaptando la información (visual, acústica, física) en función de la diversidad de los usuarios, ofreciendo alternativas para aquellos sin posibilidad de acceso a una parte o al conjunto de los entornos públicos.
- Desarrollar un sistema de provisión y distribución de servicios remotos para los usuarios conectados al sistema.
- Desarrollar una herramienta vía web y "app" móvil consumidora de servicios, a través de la cual cada usuario pueda acceder, según sus necesidades y prioridades, a la información y los contenidos disponibles de accesibilidad, de rutas óptimas y de información añadida, en formatos diversos.
- Desarrollar y programar sistemas de posicionamiento / orientación que permitan a las personas con alguna discapacidad conocer fácilmente su localización y circular con mayor libertad por los entornos urbanos que serán objeto del trabajo inicial.
- Desarrollar un prototipo de herramienta sobre entornos reales a escala a escala urbana de entornos y recorridos, para la validación del sistema de accesibilidad a la información y navegación 3D utilizando la aplicación de las tecnologías desarrolladas en el proyecto.

3.1 Metodología utilizada

La metodología utilizada se sustenta en el uso de las TIC, específicamente del Escáner Láser Terrestre (TLS) y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten definir la localización de los elementos situados sobre una base georreferenciada de la realidad y en un sistema de coordenadas, posibilitando el establecimiento de relaciones con información externa, proveniente entre otras, de la tecnología de sistema de Posicionamiento Global. (GPS)

Actualmente, el escáner láser terrestre 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. (Marambio y Garcia-Almirall, 2010)

En los últimos años, el uso del Escáner Láser Terrestre ha sufrido un gran incremento en diversas aplicaciones. Aunque la etapa de toma de datos es relativamente rápida y sencilla, el post proceso resulta costoso y requiere mucho tiempo. Los procedimientos para transformar los datos de los escáneres directamente en modelos optimizados pueden ser extremadamente largos.

Por ello se propone el uso de un modelo de nube de puntos denso como resultado final en vez de uno de polígonos, ya que el modelo de puntos densos de alta precisión (Figura 3.) permite la generación de varios resultados útiles en tiempo de post proceso mucho más cortos.

Figura 3. **Modelo 3D de alta resolución, elaborado en base a una nube de puntos densa**



Fuente: Elaboració pròpia del LMVC en el marco del Proyecto PATRAC (MICINN 2007 - 2009)

Finalmente, como resultado de las experiencias previas, se define una metodología que incluye las siguientes etapas:

- Captura de Datos,
- Post proceso,
- Explotación 2D y 3D del modelo de nube puntos,
- Parametrización de valores, pendientes, distancias, etc.,
- Desarrollo de fórmulas de cálculo, y
- Evaluación de accesibilidad.

Con todas estas consideraciones anteriores, se definió el uso del Escáner Láser Terrestre, básicamente por su alta precisión que permite realizar levantamientos físicos reales, precisos y de alta calidad y obtener información directamente medible y, a partir de estos datos trabajar con Sistemas de Información Geográfica y GPS. Se consideró que estas tecnologías debían integrarse, para desarrollar una metodología integral de evaluación de la accesibilidad física, bajo el marco del “Diseño para todos”, que permita diagnosticar problemas de accesibilidad y proporcionar información adicional sobre el entorno físico a los usuarios. Para su desarrollo fue necesario integrar en los modelos 3D (obtenidos de TLS) los parámetros de ponderación de los parámetros definidos y su grado dificultad, para cada punto del modelo, mobiliario, arboles sobre el terreno, entre otros, mediante la identificación de los elementos y la carga de valor en cada caso y para cada tipo detectado de usuario.

3.2 *Los casos de estudio*

Para lograr el objetivo del proyecto y especialmente el producto básico, la herramienta de evaluación, se decidió trabajar en dos casos que servirían de prototipos, los que después de un proceso de re-evaluación durante el desarrollo del proyecto finalmente se decidió que fueran;

un recorrido urbano que incluye un tramo de *Ciutat Vella* (Figura 4), desde la *Plaça de l'Àngel*, a la calle *Marquès d'Argenteria*, con focos de interés como son el *Fossar de les Moreres* y el *Mercat del Born* y; un ámbito de complejidad diferente, consistente en el entorno y accesos al *Castell de Montjuïc*, (Figura 5) valorando su importancia para la ciudad, su compleja accesibilidad y rutas con condiciones específicas y sus zonas verdes y arboladas.

Figura 4. Recorrido de tramo urbano



Fuente: Elaboración propia.

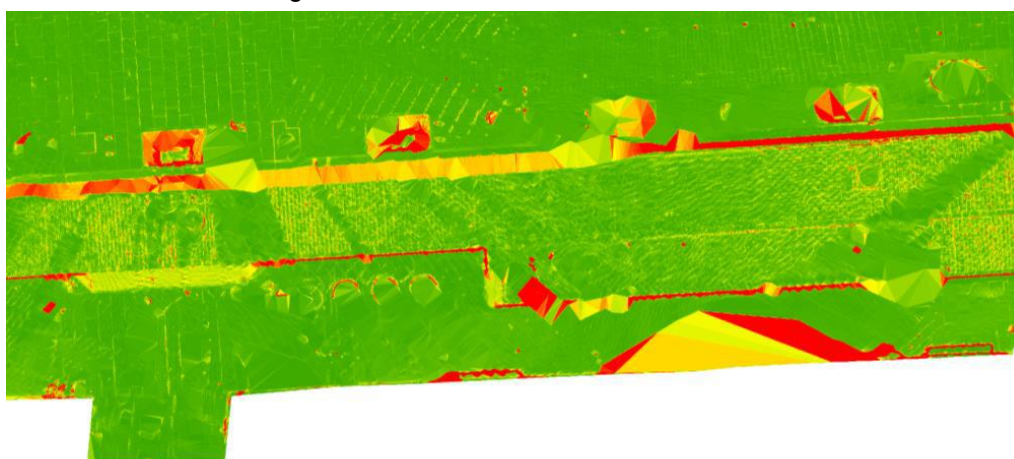
Figura 5. Entorno Castell de Montjuïc



3.3 Diagnóstico, aplicabilidad y especificaciones globales

Con todas estas consideraciones, una vez definidos los casos, se inicia el trabajo realizando el proceso de escaneo, siguiendo la metodología desarrollada anteriormente por el LMVC, y luego se desarrolló el proceso de clasificación, incluyendo la detección de elementos, muebles, árboles, etc. Este proceso requirió la detección, al mismo tiempo, de zonas con problemas o falta de información (Figura 6), ya que éstas provocan que algunas zonas de aceras y pozos de los arboles quedaran incompletas.

Figura 6. Areas con falta de información



Observación: En color rojo.

Fuente: LMVC's own elaboration in the frame

Esto requiere de una solución para completar los datos vacíos, con exploración adicional, porque si queremos analizar la accesibilidad de manera precisa se requiere tender el detalle de todas las áreas de tráfico. Por eso es necesario tomar nuevas posiciones de toma de datos.

Una vez terminado el trabajo de recolección de datos, se inició el post proceso. Su particularidad y lo nuevo en este caso, es que una vez terminado el modelo 3D para cada caso (limpiado, depurado, fijo, etc.), se inició el trabajo para la generación del MDT. Una vez finalizados los modelos 3D, se realiza el proceso de clasificación, incluyendo vectorización de elementos o definiciones de geometrías específicas, por ejemplo cilíndricas según el tipo de elemento evaluado, sin embargo este procedimiento no es materia de este artículo.

Para la determinación de las necesidades específicas de los parámetros a incluir en la formulación de la herramienta de cálculo, se desarrollaron actividades para identificar, analizar y definir los requerimientos de los tipos de usuarios (Del moral y Delgado, 2010) y los criterios de evaluación de las necesidades y rasgos de accesibilidad. Sobre la base de estos últimos se desarrolló la asignación de valores para sopesar la accesibilidad (pendientes, proximidad a los obstáculos y los planos verticales, distancia a mobiliarios, densidad de uso, etc.) a cada píxel del modelo 3D y para cada tipo de usuario. Una vez identificados y separados cada grupo de elementos se les asignaron los valores para calcular la accesibilidad, para cada uno. En la tabla siguiente se detallan los valores para la pendiente del parámetro.

Para generar la fórmula de evaluación, en ambos casos (Montjuic y Born) hemos trabajado en características específicas para tres tipos de usuarios: peatones sin discapacidades de movimiento o grados mínimos, discapacitados con discapacidad motora, usuarios de silla de ruedas, ancianos, madres con cochecitos de bebé, etc. Para todos ellos, hemos incorporado el grado de dificultad, proximidad o lejanía a los elementos, sobre la base de la metodología de ponderación desarrollada por Consuelo Del Moral y Delgado (2010). Sin embargo fue necesaria una adaptación de los criterios p sobre objetos facilitadores, no facilitadores y obstáculos.

3.4 *Desarrollo de la herramienta para evaluar los entornos urbanos*

En un primer paso, se prueban diversos software y se comienza un proceso de generación de información procesada de TLS para introducirla a rutas en SIG. Sin embargo, finalmente se trabajamos directamente sobre el MDT de cada caso, evaluando las rutas óptimas sin necesidad de generarlas previamente en formato vectorial, ya que las están se pueden obtener automáticamente identificando los elementos por separado, definiendo los valores de las pendientes e identificando los obstáculos y asignando valores también a cada tipo. Todos estos cálculos, teniendo en cuenta cada punto del modelo en lugar de rutas previamente definidas.

Con el fin de introducir la nube de puntos en un SIG, se transforman transformarse en un formato LAS, utilizado para almacenar datos aéreos LIDAR. Una vez incorporadas al sistema, las nubes de los puntos del suelo se “rasterizan” y, son reclasificadas en base a sus pendientes, siendo positivas si facilitan la movilidad o negativas si no lo hacen.

Entre otros de los procesos, se realiza por ejemplo la identificación de alturas. Cuando se compara la diferencia de altura entre las dos capas de trama (pavimento y obstáculos), se obtiene la altura de los obstáculos, y sólo quedan aquellos que afectan a los usuarios (por debajo de 2 m). Para calcular la ruta óptima, se pondera la *usabilidad* de los diferentes pavimentos dando pesos (cuanto mayor sea el más difícil), según los usuarios estudiados. Así, se establece un peso para pendientes ligeras hasta 6%, pendientes medias hasta 12%, pendientes altas hasta 18% y escalas, pendientes entre 45% y 100%.

En cuanto a los obstáculos, los pesos han sido establecidos según la distancia. Por lo tanto, los obstáculos positivos más cercanos, tendrán el menor peso asignado, y los obstáculos negativos más cercanos, el más alto.

Finalmente, teniendo en cuenta los pesos obtenidos (pendientes, obstáculos positivos y negativos), se tienen pesos finales para cada uno de los usuarios, los que permiten obtener la dirección desde cualquier punto a los diferentes destinos establecidos. Es importante mencionar que el trabajo de cálculo de las rutas óptimas, diferenciado para cada tipo de usuarios definidos (peatones, discapacitados y usuarios de sillas de ruedas), puede realizarse de forma automática como resultado del proceso previo de asignación de valores a cada uno de los píxeles que conforman el MDT, sobre el cual se calculan estas rutas óptimas, cuyos resultados, mediante diversos procesos son llevados a la plataforma web y a la App.

4. Resultados e investigaciones futuras

La principal novedad del proyecto, desde una perspectiva científica, es la integración de metodologías para analizar la realidad, con el objetivo de lograr mejoras en la accesibilidad de la información y la adición de información sobre el espacio urbano y, en última instancia, el cálculo de rutas óptimas para el mejor Desplazamiento en los ambientes estudiados. Para ello, ha sido necesario un desarrollo previo de toda una metodología para la evaluación de la accesibilidad a los espacios y la generación de datos añadidos, que proviene de los puntos de la nube para generar los modelos 3D y que, posteriormente, ha requerido la identificación y clasificación en grupos de los diversos elementos (suelos, mobiliario, árboles, etc.) con el objetivo de poder cargarlos con información, asignando a cada píxel valores específicos, según su dificultad de acceso, para cada uno de los tres tipos de usuarios seleccionados.

Finalmente, una vez cargada toda la información, se desarrolla la fórmula para calcular las rutas. La originalidad (y aportación básica) de esta metodología respecto de otras desarrolladas y utilizadas previamente por CPSV es que esta no requiere un trazado predefinido de rutas vectoriales específicas, en tanto las rutas resultantes en este caso, son efectivamente las rutas óptimas calculadas en base a la información adicional agregada a cada píxel del modelo.

La principal contribución del proyecto es el desarrollo de una herramienta de evaluación para el grado de accesibilidad y cálculo de las rutas óptimas para usuarios con diversidad funcional (basada en los tres grupos predefinidos) y su incorporación a un sistema en dispositivos móviles y con contenidos y servicios que se pueden descargar in situ o remotamente vía web.

Probablemente el aspecto más notable desde la perspectiva del avance alcanzado durante el desarrollo del proyecto, es la posibilidad de calcular la evaluación de accesibilidad desde cualquier punto del área de trabajo, y no sólo de rutas predefinidas. Siendo así, las aplicaciones resultantes se convierten en realmente útiles para los usuarios de ambas áreas, no sólo de puntos específicos restringidos, sino de todo el ámbito y desde cualquier ubicación en cada uno de ellos.

Esta herramienta de evaluación y cálculo y su implementación a través de la Web (Figura 7) y la App (Figura 8), ambas disponibles en línea, son útiles para facilitar el acceso y la comprensión de cada persona que visita ambos casos trabajados. Existe la posibilidad de ampliar fácilmente, y como resultado del proyecto se ha desarrollado la metodología que permitirá exportar los criterios de cálculo casi automáticamente a las posibles áreas futuras que se desearía desarrollar.

Figura 7. Web de análisis rutas en el Born Figura 8. App accesibilidad Santa M^a del Mar



Fuente: Elaboración del CPSV-LMVC en el Marco del proyecto Ciudad sin barreras.

En cualquier caso es importante indicar aquí, que si bien la metodología del TLS es de altísima precisión y permite la obtención de modelos con métricas precisas, su problema es que no permite realizar levantamientos masivos. Por ello, una vez desarrollada la metodología que permite el cálculo sobre el MDT, el desafío futuro es conseguir una manera más óptima de conseguir dichos MDT, por ejemplo, mediante el uso de la fotogrametría de precisión.

Es necesario indicar también, como se deduce de estos tres tipos de usuarios previamente explicados, que las personas con discapacidad visual no han tenido en cuenta, pero se han considerado criterios para su incorporación y se han trabajado métodos para incorporar información en estos casos. En este sentido se destaca la obra desarrollada por Narzt y Wasserburger (2013) explicando experiencias de cómo incorporar información obtenida de personas con discapacidad visual, registrando sus experiencias y reacciones a problemas en entornos reales, y utilizando estas respuestas en dispositivos con sonido. Con esta consideración, es evidente que existe una rama abierta para el desarrollo futuro, basada en la

adición del uso de la información sonora a las herramientas de cálculo, que permiten otras formas de percibir y disfrutar del espacio por personas discapacitadas visuales.

Es obvio que también es posible avanzar desde la perspectiva de mejorar los aspectos de localización in situ en los dispositivos móviles para este tipo de productos, para ser realmente masivos y de uso común y con un nivel de precisión más alto que el que actualmente tienen y para este tipo de aplicaciones pueden ser parte de un tipo de servicio, disponible para las personas en el marco de Smart Cities.

Agradecimientos

Este artículo se ha realizado, gracias a la ayuda obtenida mediante la Convocatoria RecerCaixa 2013, en la temática *La casa y la ciudad adaptadas a las personas con discapacidad*, obtenida para el desarrollo del proyecto “*Ciudad sin barreras. Herramienta para la evaluación y visualización de la accesibilidad al espacio público, en base a tecnologías TLS, GIS i GPS*”, dirigido por el profesor Josep Roca Caldera, desarrollado desde el Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV). Ambos coautores han participado como investigadores de dicho proyecto y agradecen a RecerCaixa y ACUP la realización de la convocatoria, que posibilita la publicación de los resultados del mismo.

Bibliografía

ABELLÁN, A. y OLIVERA, A. *Dificultades en el entorno vivido*. En: Revista Multidisciplinar de Gerontología, 14 (3): 184-186, 2004. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Ana_Olivera3/publication/39592885_Dificultades_en_el_entorno_vivido/links/55f71ed408aeba1d9ef1cfe7.pdf>

ALONSO, F. *Los beneficios de renunciar a las barreras. Análisis económico de la demanda de accesibilidad arquitectónica en las viviendas*. Serie Estudios. Observatorio de la Discapacidad. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. 1999.

ALONSO, F. (c) *El Libro Verde: La Accesibilidad en España. Diagnóstico y bases para un plan integral de supresión de barreras*. Instituto de Migraciones y Servicios Sociales (IMSERSO), Madrid, 2002, 341 p. ISBN: 84-8446-048-7

ALONSO, F. *Algo más que suprimir barreras: conceptos y argumentos para una accesibilidad universal*. En: TRANS, Revista de la traductología, II: dossier 15-30, 2007. Disponible en: <http://sid.usal.es/idoocs/F8/ART11778/algo_mas_que_suprimir_barreras.pdf>

BIERE, R. y EGUSQUIZA, A. *Herramienta para el diagnóstico de la accesibilidad en entornos de patrimonio histórico, en base a escaneado láser y realidad virtual: Acc3De 1.0*. En: ACE: Architecture, City and Environment, 5 (13): 61-90, 2010. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/handle/2099/9199>>

CHURCH, R. y MARSTON, J. *Measuring accessibility for people with a disability*. En: Geographical Analysis, 35 (1): 83-96, 2003.

DEL MORAL, C. y DELGADO, L. *Evaluación de los niveles de accesibilidad en los entornos patrimoniales*. En: ACE: Architecture, City and Environment, 5 (13): 41-60, 2010. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/handle/2099/9198>>

FUNDACIÓN ONCE. *Datos visuales y sociodemográficos de los afiliados a la once*. Fundación ONCE [En línea] 2016. [Fecha de Consulta 24 Enero 2017] Disponible en: <<http://www.once.es/new/afiliacion/documentos/Datos%20a%2031%20de%20diciembre%20de%202016.doc/download>>

ECA (European Concept for Accessibility). *Technical Assistance Manual*. En: Tecnología de la Información y Comunicaciones y Discapacidad. Propuestas de futuro. Madrid, Ed. Fundación Vodafone, 258 p. 2004.

GARCÍA, M. *La accesibilidad como derecho de la ciudadanía*. En: Observatorio de la Accesibilidad [En línea] 2014. [Fecha de consulta: 18 Enero 2017]. Disponible en: <<https://www.observatoriodelaaccesibilidad.es/espacio-divulgativo/articulos/la-accesibilidad-derecho-ciudadania.html>>

GOLLEDGE, R.G., JACOBSON, R.D., KITCHIN, R. y BLADES, M. *Cognitive Maps, Spatial Abilities, and Human Wayfinding*. En: Geographical review of Japan, Series B. 73 (2): 93-104, 2000. DOI 10.4157/grj1984b.73.93

HELIOS experts teams. *Social Integration. Annual Report*. Bruselas. 1995.

INE. *Censos de Población y Vivienda*. [En línea] 2011. [Fecha de consulta: 24 Enero 2017] Disponible en: <http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_inicio.htm>

LÓPEZ P., P. y BORAU J., J.L. *Diseño Urbanístico para todas las personas*. En HERNÁNDEZ G., Jesús (Dir.) Accesibilidad Universal y Diseño para Todos. Arquitectura y Urbanismo. Fundación ONCE, Madrid, 2011. pp. 59-80. Disponible en <http://www.fundaciononce.es/sites/default/files/docs/Accesibilidad%2520universal%2520y%2520dise%C3%B1o%2520para%2520todos_1.pdf>

MARAMBIO, A. y GARCIA-ALMIRALL, P. *Escáner Láser: modelo 3D y orto imágenes arquitectónicas de la iglesia de Santa Maria del Mar en Barcelona*. En: ACE: Architecture, City and Environment, 1 (2): 178-187, 2006. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/handle/2099/2081>>

NARZT, W. y WASSERBURGER W, W. VIATOR – A Mobile Travel Companion for Disabled Persons. En: CORP2013. [En línea] 2013. [Fecha de consulta: 20 de Junio 2016] Disponible en: <http://www.corp.at/archive/CORP2013_9.pdf>

QUERALTÓ, P. y VALLS, F. *Herramienta de cálculo de rutas óptimas según parámetros de accesibilidad física en itinerarios urbanos*. En: *ACE: Architecture, City and Environment*, 5(13): 161-184, 2010. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/handle/2099/9204>>

ROCA, J. *Ciutat sense barreres. Eina per a l'avaluació i visualització de l'accessibilitat a l'espai públic, en base a tecnologies TLS, GIS i GPS*. Proposta de recerca del projecte per la convocatòria d'ajuts a la recerca RecerCaixa. 2013.

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

SALA, E. y ALONSO, F. *La Accesibilidad Universal en los municipios: Guía para una política integral de promoción y gestión*. Aceplan, Instituto Universitario de Estudios Europeos, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona). 158 p. 2005. Disponible en: <<http://www.imserso.es/interpresent3/groups/imserso/documents/binario/guiaaccesmuni.pdf>>