

# ACE 33

Electronic offprint

Separata electrónica

## OBTENCIÓN DE RUTAS ÓPTIMAS A PARTIR DE LEVANTAMIENTOS DE NUBES DE PUNTOS

Juan Corso Sarmiento y Jordi Casals Fernández

---

Cómo citar este artículo: CORSO SARMIENTO, J. y CASALS FERNANDEZ, J. *Obtención de rutas óptimas a partir de levantamientos de nubes de puntos* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 11 (33): 235-250, 2017. DOI: 10.5821/ace.11.33.5154. ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment  
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

## OBTAINING OPTIMAL ROUTES FROM POINT CLOUD SURVEYS

**Key words:** Accessibility; multi-criteria analysis; Terrestrial Laser Scanner; heritage

### Abstract

Within the “*City without barriers, Tool for evaluation and visualization of accessibility to public space, based on TLS, GIS and GPS Technologies*” project, headed by Professor Josep Roca Caldera, funded in the framework of the RecerCaixa 2013 Call, in the theme *The house and the city adapted to the disabled people*, there is a need to develop methodologies to study accessibility in urban settings.

Given the complexity of the urban environments and the variants that can be considered from the accessibility (Del Moral, 2010), it is proposed a methodology to carry out systematic analyzes to evaluate the accessibility of urban environments and generate analysis of specific routes, starting from a massive documentation, based on architectural surveys with Terrestrial Laser Scanner Technology TLS.

These TLS surveys of unorganized point clouds are classified and structured, using the methodology proposed in this publication, in relation to the information needed for an accessibility analysis. In this process different types of analysis are used such as the RANSAC algorithm (Schnabel *et al.*, 2007) among others.

Based on this structured information, ráster layers are generated, with accessibility criteria, allowing the analysis of multi-criteria routes, which are applied to two specific urban case studies, with differentiated characteristics.

As a conclusion of these case studies, a clear methodology is proposed, that starts from the classification of points cloud, the generation of specific ráster layers, with specific parameters, to obtain the analysis of accessible routes, depending on the characteristics of accessibility.

## OBTENCIÓN DE RUTAS ÓPTIMAS A PARTIR DE LEVANTAMIENTOS DE NUBES DE PUNTOS

**CORSO SARMIENTO, Juan<sup>1</sup>**  
**CASALS FERNANDEZ, Jordi<sup>2</sup>**

**Remisión inicial:** 20-05-2016

**Remisión final:** 14-02-2017

**Palabras clave:** Accesibilidad; análisis multicriterio; Escáner Láser Terrestre; patrimonio

### Resumen estructurado

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*”, dirigido por el profesor Josep Roca Caldera, financiado en el marco de la *Convocatoria RecerCaixa 2013*, en la temática *La casa y la ciudad adaptadas a las personas con discapacidad*, se plantea la necesidad de desarrollar metodologías para estudiar la accesibilidad en entornos urbanos.

Dada la complejidad de los entornos urbanos y las variantes que se pueden considerar desde la accesibilidad (Del Moral y Delgado, 2010), se propone una metodología para realizar análisis sistemáticos para valorar la accesibilidad de entornos urbanos y generar análisis de rutas específicos, partiendo de una documentación masiva, como es la que se genera a partir de los levantamientos con la Tecnología de Escáner Láser Terrestre, TLS.

Estos levantamientos TLS, de nubes de puntos no organizadas se clasifican y estructuran, utilizando una metodología propia, en relación a la información necesaria para un análisis de accesibilidad, en este proceso se utilizan diferentes tipos de análisis como el RANSAC (Schnabel *et al.*, 2007) entre otros.

A partir de esta información estructurada se generan capas ráster, con criterios de accesibilidad, que permiten realizar análisis de rutas multicriterio, las cuales son aplicadas a dos casos de estudio urbanos concretos, con características diferenciadas.

Como conclusión de estos casos de estudio se plantea una metodología clara, que parte de la clasificación de la nube de puntos, la generación de capas ráster concretas, con parámetros específicos, para obtener los análisis de rutas accesibles, dependiendo de las características de la accesibilidad de cada zona de estudio.

---

<sup>1</sup> Doctor Arquitecto. Director técnico del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC, de la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. Correo electrónico: [juan.corso@upc.edu](mailto:juan.corso@upc.edu)

<sup>2</sup> Ingeniero en Geomática y Topografía. Asistente de investigación del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad, LMVC, de la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. Correo electrónico: [jordi.casals-fernandez@upc.edu](mailto:jordi.casals-fernandez@upc.edu)

## 1. Introducción

Según el censo de población de 2011 en España hay 46.8 millones de habitantes, 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, lo que supone que casi el 35% de la población se enfrente a barreras de accesibilidad de manera cotidiana, situación que puede ir en aumento en las próximas décadas, si se considera el envejecimiento progresivo de la población de nuestro país. Además, se estima que hay más de 65.000 personas con problemas de visión, que son los cuantificados por la ONCE, aunque hay que tener en cuenta que "son por diferentes causas y en diferentes niveles", y de la orden de 2 millones de españoles con problemas de vista por enfermedades de la retina. Si consideramos esta cantidad de personas, el total anterior asciende a casi 40% de la población que de una u otra manera tienen problemas para enfrentar su desarrollo diario en la ciudad.

La metodología desarrollada en el proyecto realizado tiene como objetivo establecer unos criterios base para la documentación de los espacios públicos, teniendo en cuenta su accesibilidad, creando la información necesaria para la futura creación de una herramienta informática que permita poner en valor la accesibilidad universal y su información asociada, como un valor añadido a la ciudad.

La metodología se propone lo más automatizada posible, con el objetivo de facilitar futuros estudios para realizarse de forma automática llegando hasta al tiempo real. Partiendo de un modelo de nube de puntos, sin tener en cuenta la tecnología empleada para su obtención, la cual se clasifica diferenciando el plano del suelo de los elementos urbanos.

Una vez clasificada la nube de puntos se introduce a un Sistema de Información Geográfica (SIG) donde se rasteriza y clasifica para obtener un ráster multicriterio que con el cual se computan las rutas óptimas hasta un destino predefinido.

## 2. Metodología

Con el objetivo de establecer unos criterios básicos para la documentación y análisis de la accesibilidad a los espacios públicos en base a las nuevas demandas, cambios demográficos, exigencias normativas, requerimientos de las personas de elevada edad o con discapacidades motoras o visuales, antes se han tenido que establecer los factores que condicionan la movilidad de los ciudadanos por el espacio urbano.

### 2.1 *Identificación de factores condicionantes*

Se han establecido unos criterios iniciales para generar la base de datos desde LAS aplicado a accesibilidad, dejando para futuros trabajos la aplicación de factores más detallados ya estudiados por otros autores. (Sakkas y Pérez, 2006; Biere y Egusquiza, 2010; Del Moral y Delgado, 2010 y City of London, 2012)

#### Información base TLS

- Pendientes
- Ancho de vía
- Tipo de pavimento, textura – fricción
- Identificación del mobiliario

#### Información complementaria

- Uso del suelo, entradas y salidas de edificios
- Ocupación de la vía
- Puntos de interés
- Nodos de entrada y salida

#### Información en tiempo real

- Gente que anda
- Alteraciones temporales, obras, cortes tráfico

## 2.2 Documentación y análisis de la accesibilidad a los espacios públicos

#### Documentación

- Extracción suelo
- Identificación mobiliario

#### Rasterizar

- Clasificación por capar
- Ráster multicriterio
- Establecer Nodos

#### Generación rutas

## 3. Casos de estudio

Para validar la metodología desarrollada se han trabajado dos casos de estudio (Figura 1) con características muy diferentes para observar las limitantes de ambos casos. Un primer caso urbano con gran cantidad de elementos y un segundo donde priman los desniveles.

Tipología A: rutas turísticas, con gran afluencia de personas, sin pendientes, para poder aislar los problemas de accesibilidad a limitantes físicos. Para este caso se escogió desde la salida del metro de Jaume I hasta el entorno del mercado del Born pasando por Santa María del Mar y el *Fosar de les Moreres*.

Tipología B: rutas con diferentes formas de superar desniveles. Para este caso se escogió el parque que da acceso al *Castell de Montjuïc*.

Figura 1. Orto imágenes de los casos



Observación: izquierda, tipología A y derecha, tipología B  
Fuente: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Los trabajos de levantamiento con tecnología de escáner laser terrestre se han realizado en base a anteriores trabajos de escaneado de Santa María del Mar (Marambio y Garcia-Almirall, 2006), siguiendo la metodología empleada, adaptándola al escáner utilizado (FARO Focus 120), a los nuevos softwares y a las capacidades de computación actuales.

## 4. Generación de la documentación base

### 4.1 Captura de datos

En ambos casos se ha optado por realizar el levantamiento de los ámbitos de estudio mediante la tecnología del escaneado láser terrestre que ha permitido documentar las preexistencias de ambos emplazamientos, descartando la posibilidad de trabajar con la tecnología LiDAR por su insuficiente resolución, el fotoescaneado por tratarse de ámbitos urbanos donde no se puede volar y el *mobile mapping* por tratarse de entornos sin acceso rodado en la totalidad de su extensión. Para poder trabajar posteriormente con GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ha tenido que georreferenciar la información mediante puntos de control.

El escáner utilizado se basa en la diferencia de fase, el Faro Focus<sup>3D</sup> permite un rango de captura amplio 360° H \* 305° V, con una precisión de 0.6 mm a 10 m, 0.95 mm a 25 m (con una longitud de onda de 905 nm), con un error sistemático de  $\leq \pm 2$  mm a 25 m, aparte de la información de intensidad reflejada del láser se capturan fotografías, con información de color RGB que se asignan a los puntos, mediante una cámara integrada de 70 mega píxeles.

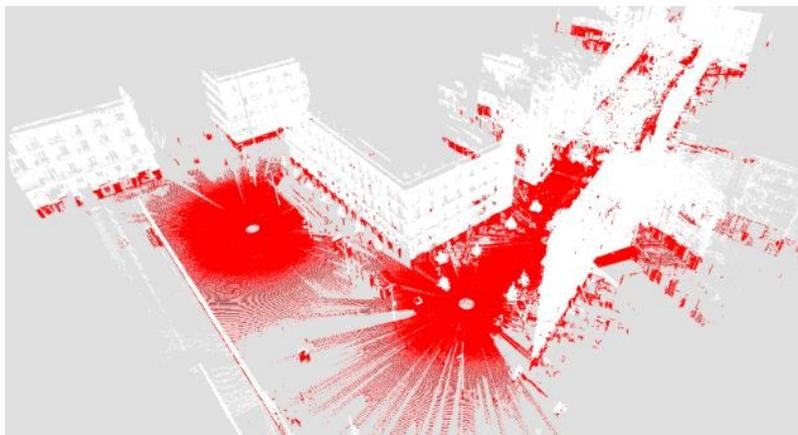
## 4.2 Extracción de pendientes, ancho de vía y tipo de pavimento (textura – fricción)

Uno de los elementos principales para el análisis de la accesibilidad en entornos urbanos es la superficie donde se desarrolla la circulación de los peatones. (Del Moral y Delgado 2010; López Pereda y Borau Jordán, 2011) A partir de la tecnología TLS se puede identificar la superficie que define el suelo, de esta circulación, mediante procesos semiautomáticos para que dicha extracción sea sistemática y se pueda volver a generar sin que se modifiquen los límites de los elementos.

A partir de la información de partida, obtenida mediante el escaneado láser, se analiza la nube de puntos buscando las superficies planas que más se adaptan al suelo, para finalmente quedarse únicamente con los puntos más cercanos a dichas superficies planas. Éstas se buscan a partir del algoritmo RANSAC (*Random Sample Consensus*) el cual permite obtener las figuras geométricas que más se aproximan a la nube de puntos, en este caso se han buscado planos.

En el primer caso de estudio dada la altura de los edificios y para reducir el tiempo de cálculo, se ha utilizado aproximadamente los primeros tres metros para el análisis, esta preselección se ha extraído manualmente (Figura 2).

Figura 2. Zona utilizada en el cálculo RANSAC



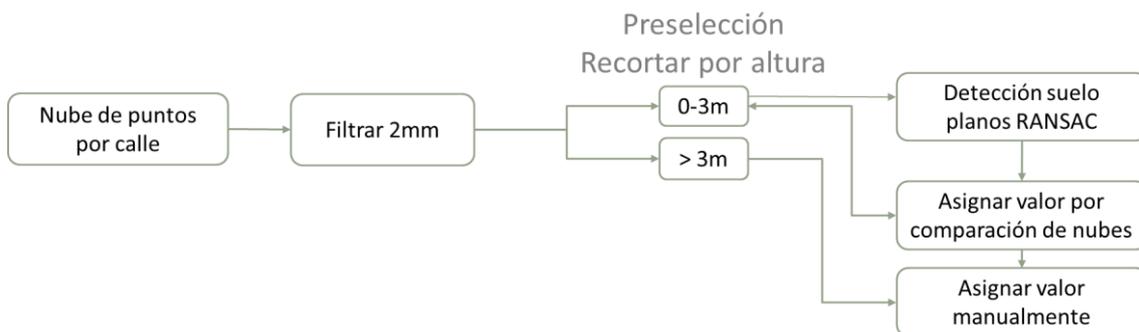
Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

En la zona inferior a los tres metros se realiza el análisis RANSAC desde el programa CloudCompare, en el primer caso de estudio con una distancia máxima a la primitiva del plano de  $e=0.34$ , con una resolución de 0.1m, con una desviación máxima de la normal de  $25^\circ$ , y con una probabilidad de búsqueda de 0.03. Con esta detección queda definido muy claramente que el plano mayor, que coincide con el pavimento, y el resto son posibles obstáculos en la circulación.

Posterior a este proceso de identificación de la nube de puntos, se procede a la clasificación de la nube, por comparación entre el plano detectado y la nube de puntos, que en los casos estudiados se ha decimado a 2mm, para reducir el tiempo de cálculo en la comparativa, de esta forma se clasifica la nube de puntos asignándole un código de clasificación a cada punto.

A la huella del plano de suelo se le signo el código de clasificación 2,1, a la contrahuella 2,2, la vegetación selecciona de forma manual y se le asigna el código 5, a los edificios el 6 y al mobiliario el 20. Este proceso se puede resumir en el Esquema 1.

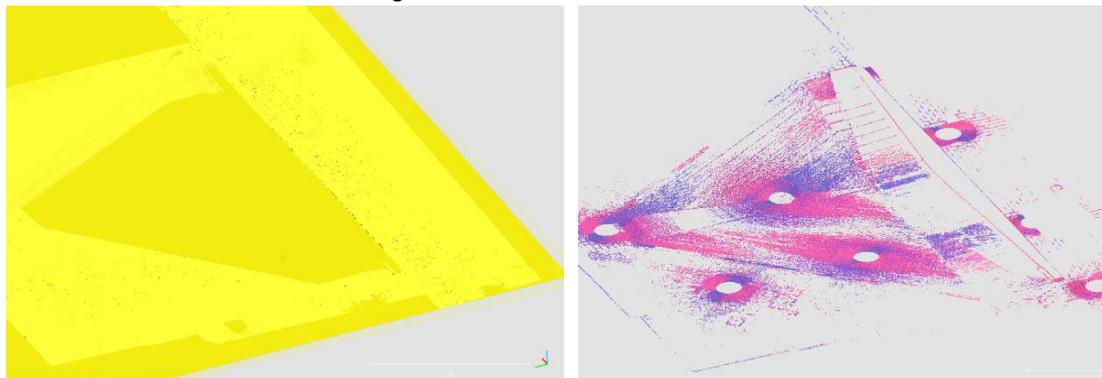
Esquema 1. Metodología de clasificación



Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

De entre todos los planos obtenidos, el más grande se corresponde con el suelo, aunque en algunos casos, como en el foso de las moreras (**Figura 3**), se han tenido que considerar los primeros 4 planos debido a las fuertes pendientes.

Figura 3. Fosar de les Moreres

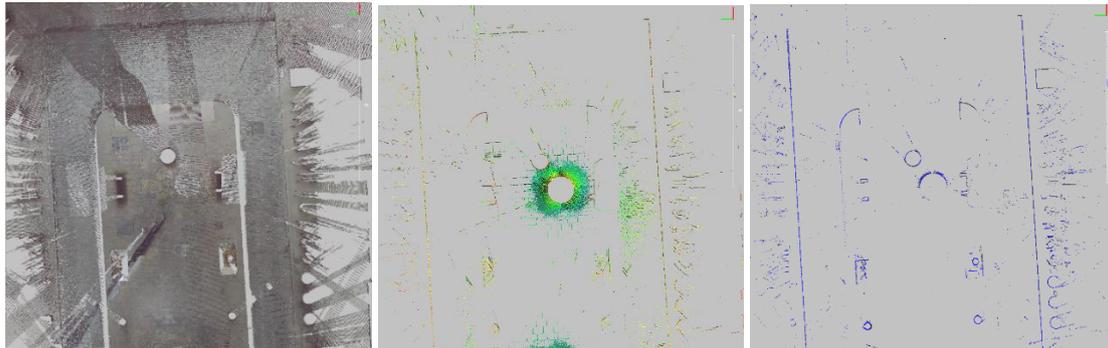


Observación: Izquierda, plano principal y derecha, planos secundarios.

Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

Finalmente, a partir de la distancia entre la nube de puntos y los planos obtenidos, se ha extraído el suelo, diferenciando entre la zona de circulación y la contrahuella (Figura 4). Además, también se ha podido eliminar parte del ruido producido en el escaneo láser.

Figura 4. Extracción de suelo, mediante diferenciación de zonas



Observación: Izquierda, Plano del suelo; centro, ruido del escáner y derecha, contrahuellas.  
Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

### 4.3 Identificación del mobiliario

Dada la complejidad del mobiliario urbano, se realizó una segunda clasificación, identificando características geométricas de éste, para poder agruparlo en dos grupos; facilitadores de la accesibilidad y obstáculos (Del Moral y Delgado, 2010). Como elementos que facilitan la accesibilidad se consideraron por ejemplo aquellos en los que se pueden sentar o descansar los peatones. Éstos tienen la característica de ser planos, y a una altura máxima determinada. Para ello se preseleccionó la nube a una altura máxima de un metro, de la cual se clasificaron, mediante el algoritmo RANSAC, los planos horizontales mayores a un metro cuadrado.

Calculando las figuras geométricas (esferas, cilindros y planos) que más se asemejan a las distintas nubes de puntos, se han establecido los criterios con los que se han clasificado los distintos obstáculos para la movilidad:

**Alcorques:** esta detección se realiza mediante la diferencia de la detección del suelo y elementos de pendiente con un área menor a los 2 m<sup>2</sup>.

**Jardineras:** En el primer caso de estudio las jardineras son media esfera, por lo cual se realiza una detección de esferas con el método RANSAC de esferas, las jardineras son las detectadas entre los valores de 55 cm y 65 cm. (Figura 5)

**Papeleras, bolardos bajos, bolardos altos, arboles, Farolas, tubos de ventilación:** La identificación de estos elementos verticales se realiza mediante la detección RANSAC de cilindros. (Figura 6)

Los valores que se toman para esta detección son:

**Papeleras:** entre 21cm y 25 cm de radio, con una altura máxima de 1m

**Bolardos bajos:** entre 11cm y 15 cm de radio, con una altura máxima de 40 cm

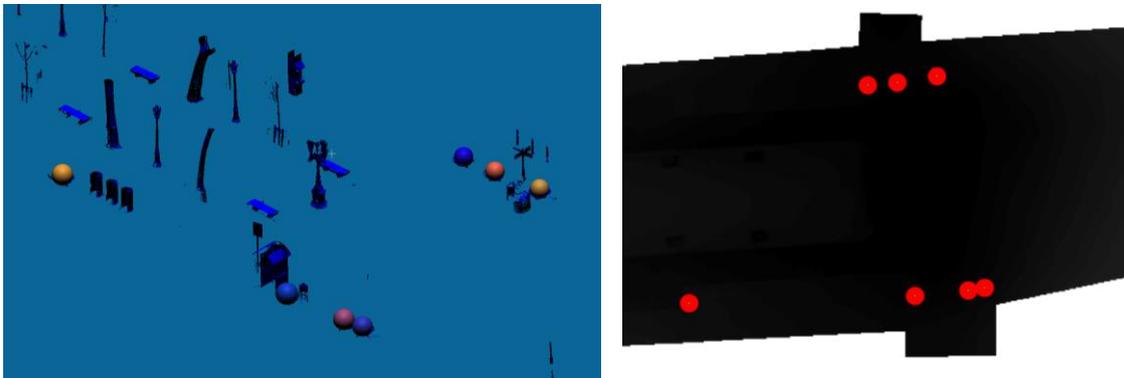
**Bolardos altos:** entre 4 cm y 5 cm de radio, con una altura máxima de 90 cm

**Arboles:** entre 5 cm y 35 cm de radio, con una altura máxima de 2 m, rotación de la verticalidad mayor a 2°

**Farolas:** entre 5cm y 35 cm de radio, con altura máxima de 2 m, con una rotación en la verticalidad inferior de 2°

**Tubos de ventilación:** entre 33 cm y 34 cm de radio, con una altura entre 1 y 1.5 m

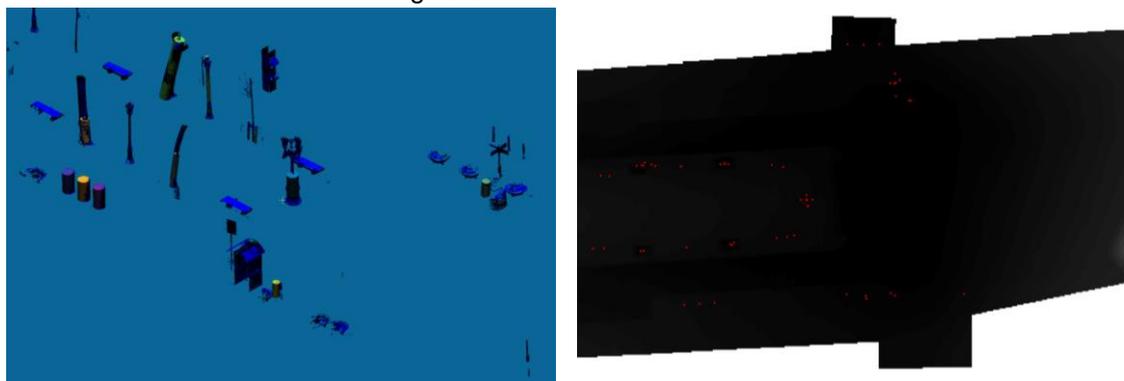
Figura 5. **Detección esferas**



Observación: Izquierda 3D y derecha 2D.

Fuente: Elaboración propia (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad).

Figura 6. **Detección cilindros**



Observación: Izquierda 3D y derecha 2D.

Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

## 5. Identificación y construcción de los ráster a utilizar

El manejo de la gran cantidad de datos que genera el escaneado láser en un SIG (Sistema de Información Geográfica), se optimiza mediante el uso del formato LAS, utilizado principalmente para almacenar datos LIDAR aéreos, que además permite mantener la información referente a la clasificación de las nubes de puntos.

La generación de un ráster se realiza mediante el cómputo de todos los puntos que se encuentran dentro de una misma celda. Para la final obtención de un único ráster compuesto de las diferentes capas de información, estas deben estar calculadas con los mismos tamaños y resoluciones, que para el análisis urbano se ha establecido una resolución de 10 cm.

Partiendo de la nube de puntos clasificada como suelo, ésta ha permitido analizar las pendientes, la textura y rugosidad del pavimento, y el ancho de la vía. Además, partiendo de la cartografía también se ha generado una capa con los distintos usos del suelo para distinguir los espacios destinados a los peatones (aceras, pasos de cebra...), de los carriles para bicicletas o vehículos a motor.

En cuanto a los elementos urbanos, sólo se han tenido en cuenta aquellos que se encuentran hasta 2,1m de altura, que es la altura libre mínima según la normativa de accesibilidad en espacios públicos a Cataluña.

Finalmente, se han establecido los puntos de interés y los nodos de entrada y salida al ámbito de estudio que, sin estar en formatos ráster, son imprescindibles para el análisis de las rutas óptimas.

### 5.1 Rasterización de suelo

Aunque la resolución definitiva del análisis previamente se ha calculado el Modelo Digital del Terreno (Queraltó y Valls, 2010) con una resolución de 1cm para, a continuación, realizar los distintos análisis filtrados a una resolución de 10 cm, precisión más que suficiente para el análisis de la accesibilidad urbana. Este cálculo en dos fases permite eliminar ruido de la nube de puntos producido por el procesado de las nubes de puntos.

#### - Pendientes

Partiendo de la cota de la celda, y en relación a la cota de las celdas contiguas, se ha computado la pendiente máxima (en %, Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

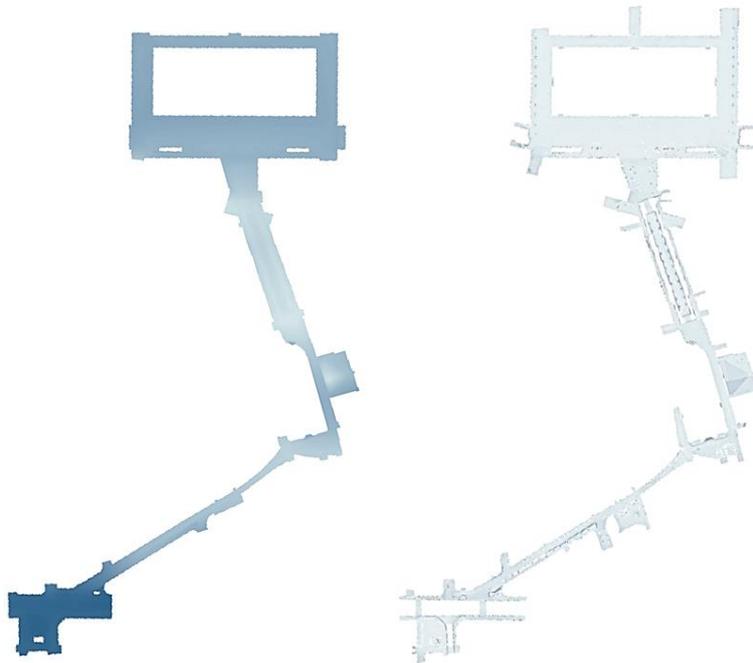
**Figura 7)** y la dirección de dicha pendiente. Para poder establecer el peso de dicho factor en el ráster multicriterio definitivo se ha reclasificado en función de la normativa vigente. (Tabla 1)

Tabla 1. Rangos clasificación pendientes.

Rango pendiente	Descripción
<6%	Sin ninguna limitación
6% - 12%	Con limitaciones según la longitud
12% - 20%	No aptas para la movilidad rodada
20% - 75%	Escaleras
>75%	Muros que delimitan la circulación

Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

Figura 7. Izquierda: Modelo Digital Elevaciones. Derecha: Análisis pendientes



Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

- *Tipo de pavimento, textura – fricción*

Se ha clasificado la textura del pavimento en función a la diferencia entre las cotas máxima y mínima del MDT de un 1cm de resolución para cada celda del ráster multicriterio con el que se obtendrán las rutas finales.

- *Uso del suelo*

Partiendo de la cartografía vectorial oficial se ha creado un ráster binario para eliminar del cálculo de las rutas óptimas las zonas dedicadas a la circulación viaria.

## 5.2 Rasterización de elementos urbanos

Para determinar los elementos urbanos que influyen se ha tenido que extraer todos aquellos que están a más de 2,1 metros del suelo. Inicialmente se ha realizado un MDT del archivo LAS de los edificios y de los elementos urbanos cogiendo el valor más bajo, y comparando la diferencia de cota entre ambas capas ráster (pavimento y obstáculos) quedándose únicamente con aquellos que afectan a los usuarios, se ha realizado un ráster binario (valores 1 y 0) de todos los obstáculos influyen en la circulación de los peatones. (Figura 8)

Figura 8. Obstáculos tramo paseo del Born



Observación: Izquierda, edificios y derecha, mobiliario.

Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

Teniendo en cuenta que al circular por la ciudad siempre se deja una distancia de seguridad con los obstáculos, se ha realizado un buffer para separarse de los obstáculos. (Figura 9)

Figura 9. Detalle buffer a elementos urbanos



Fuente: Elaboración propia (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad).

- *Ancho de vía*

En accesibilidad uno de los parámetros importantes es el ancho de la vía para permitir la circulación en sillas de ruedas y sus posibles cambios de dirección. En este caso, para los usuarios sin necesidades específicas a la circulación, también se ha utilizado para ponderar mejor la circulación por el centro de la vía, mientras que en el caso de los usuarios con dificultades de visión, se pondera mejor la circulación cerca de los edificios.

## **6. Análisis de rutas, mediante ráster multicriterio diferenciado para cada caso de estudio**

La aplicación se prevé destinada a usuarios con diversidad funcional, motora y visual, y para los usuarios en general. Así se han considerado tres tipologías de usuario para los cuales se han establecido los criterios óptimos para su movilidad.

En una primera categoría están los ciudadanos que requieren de algún elemento auxiliar que condiciona su movilidad como podrían ser sillas de ruedas, carritos de bebé o andadores. En este caso los parámetros son muy restrictivos.

En un segundo grupo se encuentran usuarios con movilidad reducida, ya sea por edad, enfermedad o lesión, y los que tienen dificultades de visión en cualquier de sus grados. Y, finalmente, se encontrarían los casos en que no se considera ninguna dificultad a la circulación.

Para poder realizar el cálculo de las rutas óptimas se debe generar un único ráster donde se sume ponderadamente los distintos factores. En este caso se han generado un total de 6 ráster multicriterio, uno para cada usuario y caso de estudio, combinando los 7 factores anteriormente analizados ponderados según si accesibilidad.

En cuanto a los obstáculos, los pesos se han establecido en función de la distancia. Así cuanto más cerca de obstáculos positivos se ha asignado un peso menor, y cuanto más cerca de obstáculos negativos uno mayor.

Además, para cada uno de los posibles usuarios se establecieron sus propios parámetros, como por ejemplo la anchura del espacio de circulación, ya que generalmente se puede considerar que un peatón prefiere caminar por el centro de un espacio amplio, pero otro peatón con dificultades en la visión preferirá circular cerca de las fachadas de los edificios, o ciudadanos de edad avanzada agradecerían encontrar bancos donde poder descansar a lo largo de su trayecto.

En el caso de las pendientes, las características tan dispares de los dos casos de estudio han obligado a ponderar distintamente ambos criterios (Tabla 2).

Según los criterios de accesibilidad la ruta no debería exceder el 12% de pendiente, pero en la segunda tipología imposibilitaba el acceso a ciertos destinos.

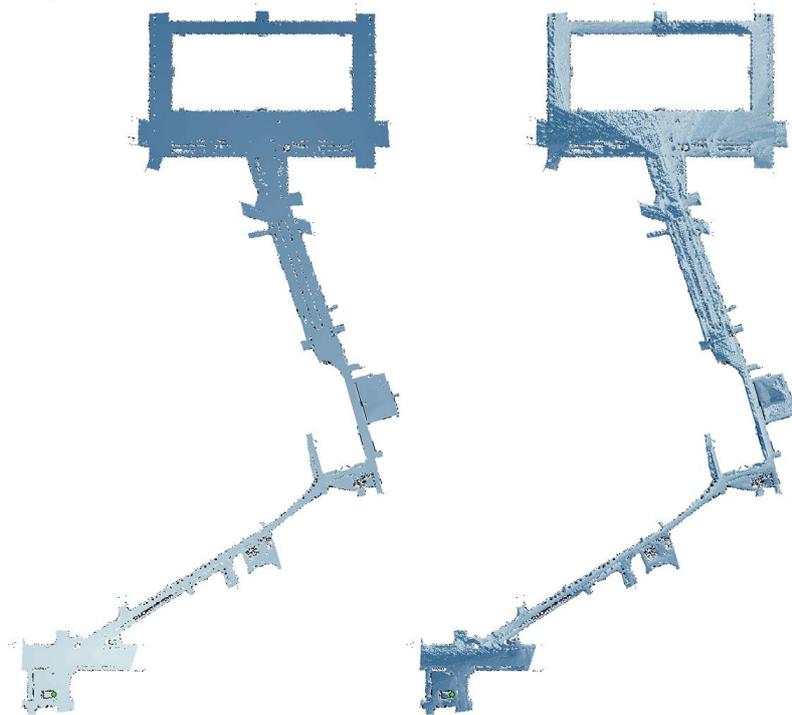
Tabla 2. Asignación pesos pendientes para usuarios en silla de ruedas

Rango pendiente	Tipología A	Tipología B
<6%	1	1
6% - 12%	10	10
12% - 20%	NoData	100
20% - 75%	NoData	NoData
>75%	NoData	NoData

Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

Una vez ponderados los diferentes parámetros que pueden influir en la accesibilidad urbana, se ha procedido a realizar los procesos automatizados de cálculo de rutas ráster que consisten en calcular la distancia ponderada de cada una de las celdas hasta un origen determinado, así como la dirección que debe seguir cada una de las celdas para dirigirse al origen. (Figura 10)

Figura 10. Procesos automatizados de cálculo de rutas ráster

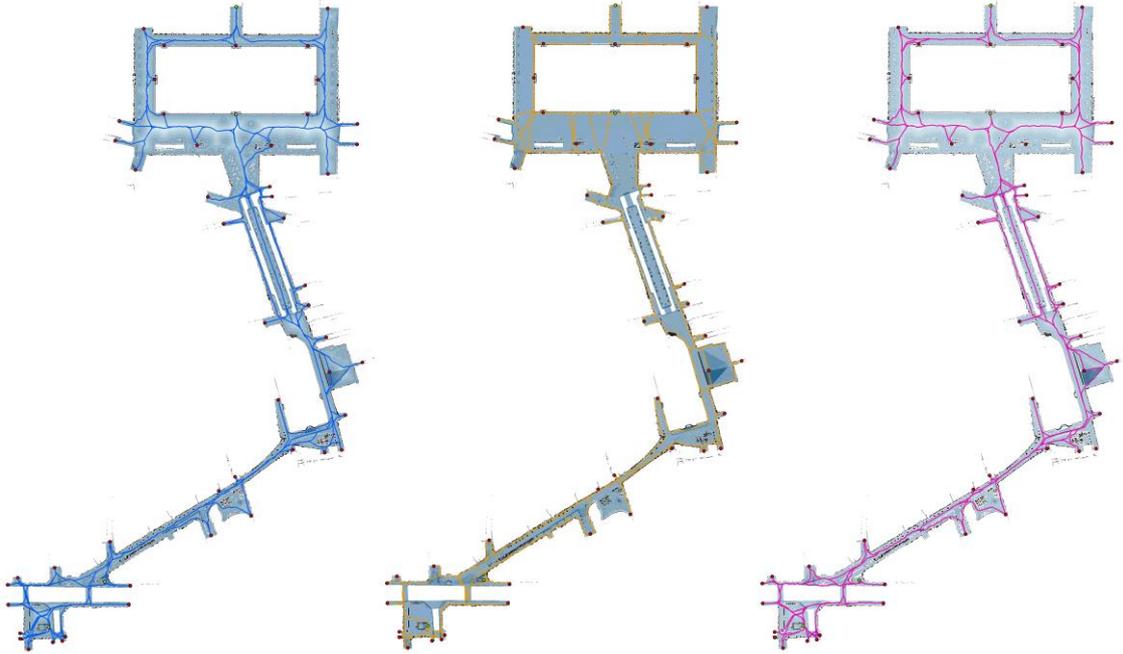


Observación: Izquierda, Distancia al origen y derecha, Dirección óptima

Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

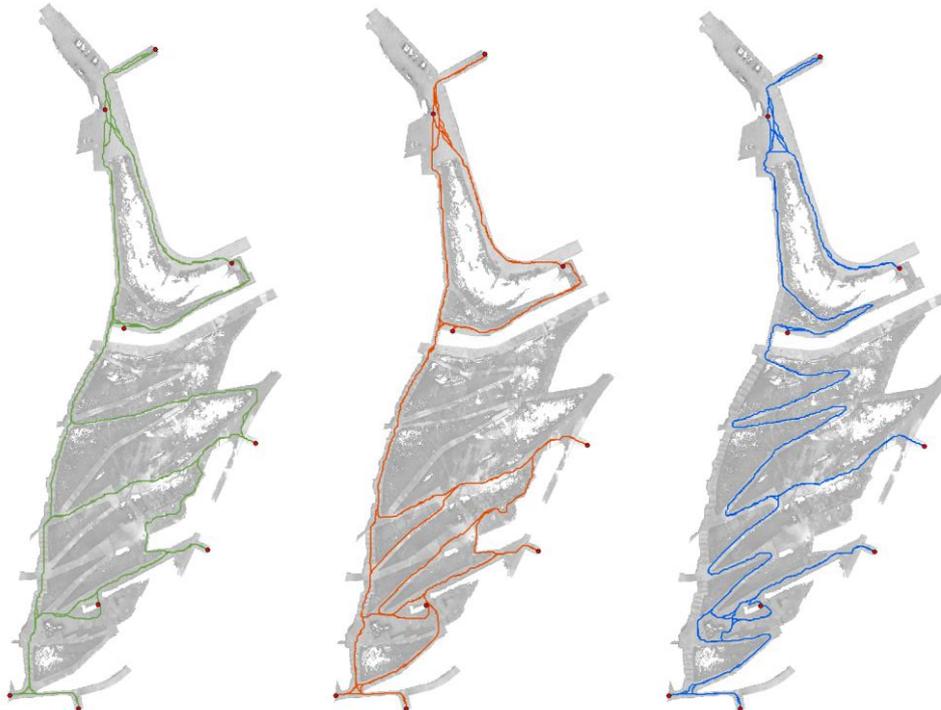
Finalmente, indicando los posibles destinos se ha calculado la ruta óptima para cada uno de él, obteniendo así el camino a seguir que más se adapta a las necesidades del usuario. (Figura 11 y Figura 12)

Figura 11. Rutas óptimas tipología A



Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

Figura 12. Rutas óptimas tipología B



Fuente: Elaboración propia. (Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad)

## 7. Conclusiones

Se ha establecido una metodología para organizar la información que permite obtener unas rutas óptimas, hasta un destino predefinido, adaptadas a las necesidades de los diferentes usuarios.

El hecho de pasar de una información desorganizada TLS, a una mucho más estructurada como son las estructuras ráster, permite la documentación detallada de los elementos que configuran el espacio urbano, pero a la vez posibilitan una capacidad de análisis mucho más ágil.

Los casos de estudio analizados se plantearon con características diferentes. Este hecho ha implicado que en el primero la gran dificultad se ha mostrado en la clasificación de los elementos urbanos, debiendo en algunos casos terminarla de forma manual. Mientras que, en el segundo caso, donde los recorridos estaban mucho más delimitados, la gran dificultad se encontró en la clasificación del suelo y la determinación de los pesos para obtener rutas lógicas.

La priorización del peso de las diferentes informaciones para generar el ráster multicriterio, varía respecto a los limitantes anteriores relativos al ámbito de estudio. Por esta razón no ha sido posible la completa sistematización del proceso para la obtención de las rutas óptimas.

Para futuros trabajos se plantea la necesidad de evaluar si las capas de información y los criterios utilizados al ponderarlas se ajustan al uso que realizan los peatones directamente en campo. Además, se deberá analizar más ámbitos distintos para ir analizando las diferencias entre ellos para definir unos parámetros únicos que permitan automatizar la toma de decisiones en la obtención de la ruta óptima para la accesibilidad del espacio público.

## Agradecimientos

Este artículo ha sido posible, gracias a los trabajos realizados en el marco del *“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, financiado en el marco de la Convocatoria RecerCaixa 2013, en la temática *La casa y la ciudad adaptadas a las personas con discapacidad*. Por ello se destaca la posibilidad que otorgan RecerCaixa-ACUP, mediante su Convocatoria anual de proyectos de investigación, la que permite la realización de proyectos que obtengan resultados como los que se publican en este trabajo.

## Bibliografía

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>>

CITY OF LONDON. *Aldgate gyratory. Pedestrian analysis for the city of London*. [En línea]. 2012. [Fecha de última consulta: 11 Noviembre 2016] Disponible en: <<https://www.cityoflondon.gov.uk/services/transport-and-streets/transport-planning/transport-projects/aldgate-area/Pages/Background-and-previous-consultation.aspx>>

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>>

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](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>>

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>>

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

SCHNABEL, R., WAHL, R., KLEIN, R. *Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection*. [En línea]. Malden, USA: Blackwell Publishing, 9600 Garsington Road, Oxford. 2007. 214–226. [Fecha de última consulta: 11 Noviembre 2016] Disponible en: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.481.1514&rep=rep1&type=pdf>>