

## ACTUALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL URBANA MEDIANTE LiDAR Y SIG

SÁNCHEZ LOPERA, J.<sup>1</sup>, LERMA GARCÍA, J. L.<sup>2</sup>

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universitat Politècnica de València. Edificio 7i. Cº de Vera, s/n. 46022 Valencia, España.

[jslopera@hotmail.com](mailto:jslopera@hotmail.com)<sup>1</sup>, [jllerma@cgf.upv.es](mailto:jllerma@cgf.upv.es)<sup>2</sup>

### RESUMEN

Este artículo presenta una metodología para actualizar cartografía urbana de forma automática utilizando datos LiDAR (*Light Detección And Ranging*) y SIG (Sistema de Información Geográfica). La gran utilidad de disponer de cartografía urbana a grandes escalas tanto para el sector privado como público motiva la actualización periódica de la misma por parte de las administraciones locales. No obstante, dada la dificultad de detectar nuevas edificaciones en la cartografía obsoleta, en la mayoría de los casos se opta por su renovación completa con los costes asociados que ello conlleva. El presente artículo muestra una metodología para actualizar cartografía, previa detección de cambios utilizando datos LiDAR. Además, se exponen distintos algoritmos para transformar cartografía 2D a 3D a partir de un ajuste mínimo cuadrático utilizando la información altimétrica que proporciona la tecnología LiDAR.

Palabras clave: Actualización cartográfica, cartografía urbana, detección de cambios, LiDAR, SIG.

### UPDATING URBAN CADASTRAL CARTOGRAPHY USING LIDAR AND GIS

#### ABSTRACT

This paper presents a methodology to automatically update urban cartography using LiDAR (*Light Detección And Ranging*) data and GIS (Geographic Information Systems). It is worth having access to large scale urban cartography either for the private sector or for the general public; therefore, periodic map updating is requested by local authorities. However, as it is difficult to detect new buildings on outdated plans, most of the times a full update is carried out without considering the related costs of this action. This paper introduces a method to update cartography after detecting changes in LiDAR data. In addition, several algorithms are presented to transform 2D cartography in 3D, making use of a least squares adjustment of the height information delivered by the LiDAR technology.

Keywords: Cartographic updating, urban cartography, change detection, LiDAR, GIS.

## 1. Introducción

Disponer de cartografía urbana es de gran utilidad para muy diversos ámbitos como son el planeamiento urbanístico, la gestión, el análisis territorial y medioambiental, el catastro, etc. Además, existe la necesidad de actualizar periódicamente dicha cartografía. Sin embargo, la actualización cartográfica no está exenta de dificultades a la hora de identificar los inmuebles que han sufrido cambios físicos a lo largo del tiempo. Si la actualización no se realiza de manera sistemática y mediante procedimientos automatizados puede suceder que la actualización de la cartografía no se efectúe por su complejidad, que no sea rentable y que, eventualmente, se opte por renovación completa.

Por otro lado, la generación de cartografía urbana tridimensional (3D) resulta de gran utilidad tanto para los ciudadanos como, sobre todo, para la propia gestión municipal, ya que los distintos proyectos pueden calcularse, analizarse y mostrarse fielmente junto con su entorno. En consecuencia, su demanda se ha incrementado notablemente en los últimos años dado el valor añadido que presenta disponer de cartografía 3D en entornos urbanos.

En este sentido, con el fin de abaratar costes en la producción cartográfica urbana y catastral, este trabajo presenta una metodología para detectar nuevas construcciones, así como posibles modificaciones en edificios existentes, usando para ello técnicas de detección de cambios aplicadas a datos LiDAR. Además, se exponen distintos algoritmos desarrollados para convertir de forma automática cartografía urbana 2D a 3D utilizando tecnología LiDAR.

## 2. Estado del arte

Con el fin de mantener la cartografía lo más actualizada posible, muchos han sido los autores que han propuesto metodologías para detectar cambios a partir de datos obtenidos mediante sensores remotos (Hoffmann *et al.*, 2000; Niederöst, 2001; Armenakis *et al.*, 2003; Knudsen y Olsen 2003; Jung, 2004; Walter, 2004; Butkiewicz *et al.*, 2008; Chaabouni-Chouayakh *et al.*, 2010; Matikainen *et al.*, 2010; Chen y Lin, 2010; Trinder, 2011).

En los casos donde la actualización automática se realiza mediante teledetección, la primera fase consiste en interpretar las imágenes y compararlas con la cartografía existente (obsoleta) con tal de poder detectar zonas de cambio susceptibles de ser actualizadas. Seguidamente, una vez detectados los cambios, se procede a la detección y extracción de entidades que permiten actualizar dicha cartografía. Armenakis *et al.* (2003) utilizaron imágenes *Landsat*, siendo los lagos la entidad objeto de estudio. Por otro lado, Knudsen y Olsen (2003) utilizaron fotografías aéreas para detectar cambios en edificios y Walter (2004) hizo uso de imágenes aéreas digitales con el fin de detectar cambios en el uso del suelo.

Con respecto a la actualización cartográfica utilizando datos LiDAR, distintos autores han propuesto metodologías de detección de cambios. Murakami *et al.* (1999) plantean una sencilla

metodología de detección de cambios basada en la resta de antiguos Modelos Digitales de Superficies (MDS) con otros nuevos obtenidos mediante datos LiDAR. De forma similar, Vögtle y Steinle (2004) utilizan Modelos Digitales de Superficie (MDS) generados a partir de datos LiDAR de diferentes épocas para identificar edificios y comparar posteriormente los resultados, con el fin de detectar cambios en el entramado urbano. Análogamente, otros estudios han utilizado datos LiDAR multitemporales para detectar cambios (Vu *et al.*, 2004; Butkiewicz *et al.*, 2008; Rutzinger *et al.*, 2010; Trinder, 2011).

Otro enfoque consiste en extraer los edificios sobre nuevos datos adquiridos (datos LiDAR, ortofotografías, etc.) y comparar los resultados con cartografía existente para detectar cambios. Este procedimiento es de gran utilidad para cualquier organismo que dispone de cartografía obsoleta y pretende realizar su actualización. La detección de edificios puede realizarse en ortofotografías, imágenes aéreas multiespectrales o datos LiDAR. Holland *et al.* (2008) utilizaron imágenes digitales de alta resolución para detectar las diferentes entidades cartográficas, siendo también frecuente la utilización de imágenes multiespectrales para extraer edificios (Knudsen y Olsen, 2003). No obstante, estudios recientes ponen de manifiesto que los mejores resultados se obtienen a partir de la utilización de MDS generados mediante tecnología LiDAR, así como la combinación de dichos MDS con otras fuentes de datos, tales como ortofotografías e imágenes multiespectrales (Rottensteiner, 2008; Rutzinger *et al.*, 2010; Chen y Lin, 2010; Chaabouni-Chouayakh *et al.*, 2010; Trinder, 2011; Cheng *et al.*, 2011).

Con respecto a la escala de trabajo y el nivel de detalle alcanzado en el proceso de detección de cambios utilizando datos LiDAR, gran parte de los estudios existentes utilizan la detección de cambios para evaluar el nivel de destrucción de catástrofes naturales, como terremotos o tsunamis en una determinada región (Vögtle y Steinle, 2004; Vu *et al.*, 2004; Rehor *et al.*, 2008; Trinder, 2011). En estos casos la escala de trabajo es media y, básicamente, el objetivo es detectar aquellas zonas donde los edificios han sufrido demoliciones para evaluar daños. Otros autores utilizan la detección de cambios como base para una posterior actualización cartográfica (Vosselman *et al.*, 2004; Rottensteiner, 2008; Chaabouni-Chouayakh *et al.*, 2010; Chen y Lin, 2010; Matikainen *et al.*, 2010). En este sentido, los estudios muestran distintas metodologías para detectar nuevos edificios, demoliciones y edificaciones que han sufrido modificaciones en su estructura. La precisión y la escala de trabajo son mayores que las utilizadas en la evaluación de daños por catástrofes. No obstante, se trabaja en todos los casos con escalas medias (en torno al 1:10.000) y no se detectan las modificaciones estructurales concretas de los edificios que han sufrido alteraciones. Además, los trabajos existentes únicamente muestran metodologías para la detección de cambios, sin entrar en detalle de cómo debe actualizarse la cartografía en función de los cambios detectados y de los datos existentes.

En este sentido, el presente trabajo da un paso más y presenta una metodología para detectar cambios en edificios dentro de casco urbano a grandes escalas (1:500), mediante la detección de edificios en datos LiDAR y su posterior comparación con cartografía catastral existente. Además, el presente estudio no se limita a la detección de cambios, sino que desarrolla una metodología basada en operaciones SIG para actualizar la cartografía utilizando los cambios previamente detectados, la información altimétrica que proporciona los datos LiDAR y las ortofotografías de la zona de estudio. Es decir, se presenta una nueva metodología para detectar

cambios en cartografía urbana 2D a grandes escalas (cartografía catastral), mediante la detección en datos LiDAR de fronteras entre los diferentes planos que conforman los edificios y su posterior comparación con la cartografía existente utilizando herramientas SIG.

### 3. **Ámbito de estudio y datos de partida**

Se pretende actualizar la cartografía catastral perteneciente al casco urbano de la Vall d'Uixó ([figura 1](#)), situado en la provincia de Valencia (España). Se dispone de datos LiDAR pertenecientes a la zona norte de dicho municipio y ortofotografías de fechas posteriores a la cartografía catastral objeto de estudio.

La tecnología LiDAR aerotransportada permite una captura masiva de puntos 3D en un sistema de coordenadas global, incorporando además la intensidad de la señal reflejada para cada punto, resultando un vector XYZI. La georreferenciación de los datos se basa en la medición del tiempo que tarda el pulso láser emitido en reflejarse en la superficie terrestre y ser devuelto hasta el sensor y el ángulo de giro del espejo oscilante. Para dotar a los puntos de coordenadas absolutas se utilizan las mediciones GPS, que son interpoladas a la totalidad de la trayectoria del avión mediante el sistema de navegación inercial (INS).

Se ha utilizado cartografía catastral de la Vall d'Uixó editada en 2002 para testear la metodología que se expone en los siguientes apartados, las coordenadas tridimensionales de una nube de puntos LiDAR capturados en el año 2004 y ortofotografías de la zona de estudio que datan de 2005.

### 4. **Metodología**

Básicamente son dos los objetivos a cumplir. Por un lado, la actualización semiautomática de cartografía catastral obsoleta mediante técnicas de detección de cambios aplicadas a datos LiDAR. Por otro, la transformación a cartografía 3D del catastro previamente actualizado.

#### 4.1. Actualización cartográfica semiautomática en entornos urbanos

Para la actualización de la cartografía catastral deberá partirse de los datos LiDAR y de la ortofoto, ya que en una primera fase se detectarán los edificios que han sufrido modificaciones físicas utilizando para ello los datos LiDAR, mientras que en una segunda fase deberán actualizarse las zonas de cambio detectadas tomando como base la ortofoto.

A continuación se describen las distintas fases de las que consta la actualización cartográfica utilizando datos LiDAR.

#### 4.1.1. Detección de planos y terrazas a partir de datos LiDAR (segmentación en regiones)

Con el fin de identificar las zonas de cambios para la actualización cartográfica, será necesario procesar los datos LiDAR para detectar los distintos planos y terrazas que forman los edificios y poder comparar los resultados con la cartografía catastral existente.

Se han implementado distintas funciones en C++ a la hora de realizar el procesado y la segmentación de los datos LiDAR. Para la elección del lenguaje de programación se efectuó una recopilación de las diferentes librerías geométricas de libre distribución que podían ser utilizadas para el presente trabajo. Se eligió el lenguaje C++ ya que es uno de los lenguajes de programación compilado que más posibilidades ofrece y dispone de una amplia gama de librerías libres asociadas a geometría computacional (CGAL, GEOMETRY, GEOMPAK, OpenGL, GLUT, etc.).

Básicamente, para detectar los distintos planos o terrazas de los edificios en los datos LiDAR se programaron dos aplicaciones. Una primera aplicación, que importa y codifica los datos, y una segunda, que utiliza la codificación anterior para segmentar los datos con el fin de detectar entidades (edificios en el caso que nos ocupa). Ambos algoritmos programados se describen a continuación.

##### A) Codificación de datos LiDAR dispuestos de forma aleatoria

Los datos brutos LiDAR estaban formateados en un archivo de texto ASCII con las coordenadas XYZ y nivel de intensidad tabulados en diferentes columnas. El principal problema de este formato es que los puntos están dispuestos en el archivo de texto en el orden en el que fueron capturados por el sensor, por lo que, debido a que existen solapes entre las diferentes pasadas del vuelo, no hay ninguna relación entre la posición de un punto en el terreno y su correspondiente registro en el archivo de texto.

Para solucionar este problema y conseguir detectar entidades en el conjunto de datos LiDAR existen dos enfoques diferentes. El primero consiste en interpolar la nube de puntos en una malla regular y extraer posteriormente las diferentes entidades de la escena aplicando técnicas de análisis de imagen digital, como filtros y segmentaciones (Maas y Vosselman, 1999; Tóvári y Vogtle, 2004; Rottensteiner, 2008; Chaabouni-Chouayakh *et al.*, 2010; Rutzinger *et al.*, 2010; Matikainen *et al.*, 2010; Trinder, 2011). El segundo enfoque se basa en detectar las entidades directamente sobre los datos LiDAR brutos dispuestos de forma aleatoria (Morgan y Habib, 2001; Schwalbe, 2004; Butkiewicz *et al.*, 2008) mediante la generación de redes irregulares de triángulos (TIN). La interpolación a malla regular resulta de más fácil manejo que las redes de triángulos, no obstante, la precisión en la detección y extracción de entidades es mayor si se actúa directamente sobre la nube de puntos LiDAR (Borowiec, 2008).

Dado que el presente estudio trata de detectar edificios para actualizar cartografía urbana, la precisión requerida es alta y finalmente se decide utilizar redes de triángulos. En concreto, se opta por la triangulación de Delaunay ([figura 2](#)), al igual que han hecho otros autores (Tse *et al.*, 2007; Zhang y Du, 2011). La triangulación de Delaunay tiene la propiedad de conectar mediante aristas

los puntos más próximos entre sí, consiguiendo reducir al máximo las operaciones asociadas a la determinación de los puntos más próximos a uno dado.

### B) Segmentación

Uno de los aspectos de mayor relevancia en el tratamiento de los datos LiDAR dentro de un casco urbano es la detección de entidades. Como norma general, la detección de entidades tiene por finalidad la clasificación automática de grupos de puntos pertenecientes a árboles, edificios, carreteras, automóviles o cualquier objeto o construcción artificial. Asimismo, dicha clasificación puede actuar como filtro y, previa eliminación de entidades, generar Modelos Digitales del Terreno (MDT) que representen la superficie topográfica de la zona. No obstante, en el caso que nos ocupa se trata de detectar los distintos planos que constituyen las terrazas o tejados de los edificios, con el fin de identificar nuevas edificaciones o modificaciones en los edificios ya existentes y poder realizar así una correcta actualización de la cartografía urbana existente.

En el caso de la detección de entidades para evaluar cambios, la mayoría de los estudios interpolan los datos LiDAR, obteniendo un MDS que es usado como base para la extracción de las diferentes clases (generalmente edificios, calles y vegetación) mediante la aplicación de filtros y técnicas de segmentación. En este sentido, las últimas investigaciones ponen de manifiesto la eficacia de combinar imágenes multispectrales con MDS proveniente de LiDAR, con el fin de diferenciar con precisión las edificaciones de la vegetación a partir del Índice Normalizado de Vegetación (Rottensteiner, 2008; Matikainen *et al.*, 2010).

En el presente trabajo, dado que se pretende realizar la actualización de cartografía de gran escala (1:500), se trabaja directamente sobre datos LiDAR dispuestos de forma aleatoria sin interpolar a MDS, evitando así el proceso de interpolación y la pérdida de precisión que ello conlleva. En particular, se presenta un nuevo algoritmo que detecta edificios, calles y vegetación utilizando únicamente premisas geométricas aplicadas sobre la triangulación de datos LiDAR.

Para la detección de los distintos tipos de superficies se implementa un algoritmo de segmentación basado en crecimiento de regiones. Este método de segmentación ha sido utilizado sobre datos LiDAR con mucha frecuencia (Haala y Brenner, 1997; Rottensteiner y Bries, 2003) y consiste en detectar un punto perteneciente a una entidad y, posteriormente, añadir a la entidad puntos adyacentes con características similares al punto semilla.

La aplicación programada toma un punto cualquiera de los datos LiDAR y le asigna un identificador de plano. Posteriormente se irán añadiendo puntos al grupo, siempre y cuando cumplan con una distancia e incremento de cota mínimos con respecto al punto más cercano anteriormente clasificado. En concreto, el algoritmo desarrollado permite clasificar los puntos en función de si pertenecen a la calle, árboles o automóviles y edificios. Las condiciones para que un punto sea clasificado dentro de una entidad determinada pueden observarse en la [tabla 1](#). Por otro lado, el resultado de la clasificación se expone en la [figura 3](#).

#### 4.1.2. Detección de cambios y actualización cartográfica

Los distintos planos y terrazas detectados en los datos LiDAR se utilizarán para actualizar la cartografía catastral de fecha de edición cartográfica anterior a la toma de datos LiDAR. Para detectar cambios en la cartografía se usará análisis SIG. El *software* utilizado es *ArcGIS 9.2*.

Dado que disponemos de los datos LiDAR segmentados en los distintos planos o terrazas que constituyen los edificios, se asignará a cada uno de ellos un identificador de plano (ID\_PLANO). Por otro lado, disponemos de la cartografía catastral en formato *shape* (\*.shp), donde cada edificio también dispone de un identificador propio (ID\_EDIFICIO).

El primer problema al que nos enfrentamos es que disponemos de datos vectoriales estructurados en diferentes unidades básicas de información geográfica (puntos y polígonos), lo que dificulta el análisis SIG. Por tanto, se transformará la capa de datos LiDAR (puntos) a polígonos aplicando polígonos de Thiessen.

Los polígonos de Thiessen se aplican directamente a los datos LiDAR constituidos por una nube de puntos, de tal forma que cualquier ubicación dentro de un polígono de Thiessen estará más cerca de su punto asociado que de cualquier otra entidad de punto. Finalmente se fusionan los polígonos de Thiessen correspondientes a un mismo plano o terraza aplicando un *dissolve* (operación SIG) con el campo ID\_PLANO, obteniendo así una capa de polígonos con los distintos planos y terrazas detectados en la nube de puntos LiDAR ([figura 4](#)).

Llegado este punto, disponemos de dos capas de polígonos: la cartografía catastral que se desea actualizar y la capa de polígonos obtenida a partir de la nube de puntos LiDAR (capa de planos/terrazas LiDAR).

Para detectar las edificaciones que han sufrido cambios y no están reflejados en la cartografía catastral se deberán analizar los cambios existentes entre ambas capas. Dado que la cartografía catastral se realizó con anterioridad a la captura de datos LiDAR, en la capa de planos/terrazas (LiDAR) habrá nuevos polígonos inexistentes en la cartografía catastral y que corresponderán a nuevas construcciones o modificaciones de edificios ya existentes. Teniendo en cuenta que comparar la totalidad de los polígonos de la capa de catastro con sus correspondientes polígonos análogos de la capa de polígonos LiDAR es un proceso muy costoso, nos limitaremos a comparar la superficie de los polígonos análogos mediante operaciones SIG. La forma de proceder será marcar como edificios a actualizar aquéllos cuya área haya sufrido considerables modificaciones o variaciones entre ambas capas ([figura 5](#)).

Básicamente, hemos calculado el área de los polígonos de ambas capas y marcado aquellos edificios en la capa de terrazas/planos LiDAR cuya área difiere en más del 20% con respecto a la capa de catastro sin actualizar, obteniendo así una nueva capa donde aparecen todas las zonas que contienen edificios que deben de ser actualizados en la cartografía catastral.

En las zonas de cambio detectadas pueden existir solares que contengan árboles o toldos, que serán registrados erróneamente como nuevos tejados o terrazas de edificios, por lo que es

necesario realizar una revisión visual sobre la ortofoto de las zonas de cambio para filtrar dichos errores ([figura 6](#)).

Una vez detectadas las zonas de cambio donde los edificios han sufrido modificaciones posteriores a la edición de la cartografía catastral, deberá actualizarse la cartografía utilizando como base la ortofoto, así como la capa de puntos LiDAR ([figura 7](#)).

Para testear el procedimiento desarrollado se ha aplicado la metodología a una zona de 2 ha, donde la densidad media de puntos LiDAR es de 2,2 puntos/m<sup>2</sup>. En esta zona, un total de 13.157 puntos han sido clasificados como edificios y se han detectado cambios en un total de 151 edificaciones ([tabla 2](#)), de las cuales únicamente se ha procedido a actualizar 67 ([figura 8](#)).

#### 4.2. Transformación automática de cartografía 2D a 3D utilizando datos LiDAR

En la actualidad la fotogrametría aérea es una de las técnicas principales para obtener información de estructuras y edificios en 3D, aunque todavía a base de apoyarse en gran parte en el trabajo manual de los operadores, con el coste que ello conlleva. En este sentido, gracias al desarrollo de los sistemas de escáner láser y al aumento constante de su precisión en la captura de datos altimétricos, el barrido láser aéreo se presenta como una técnica efectiva para obtener precisas representaciones de ciudades en 3D a costes realmente asequibles.

A continuación se presenta una metodología que transforma cartografía urbana 2D a 3D utilizando datos LiDAR. La totalidad del proceso se ha implementado en *ArcGIS* utilizando *ArcObject* y usando como lenguaje de programación *Visual Basic*. Para testear el procedimiento se ha utilizado la cartografía catastral previamente actualizada tras aplicar la metodología descrita en el apartado anterior.

Llegado este punto, disponemos de la cartografía catastral actualizada de una parte del casco urbano de la Vall d'Uixó en formato *shape*, donde uno de sus campos asociado (*ID\_PLANO*) relaciona cada uno de los polígonos de la cartografía con el plano/terracea correspondiente obtenido tras segmentar los datos LiDAR. De esta forma, utilizando dicha relación, el procedimiento desarrollado ajusta mediante mínimos cuadrados cada uno de los polígonos a su plano correspondiente, obteniendo así cartografía 3D urbana con una precisión altimétrica condicionada a la precisión de los datos LiDAR originales.

Para realizar el ajuste por mínimos cuadrados es necesario separar cada uno de los polígonos existentes en la cartografía catastral en ficheros *shape* independientes y, posteriormente, realizar el ajuste de forma independiente de cada uno de ellos. Dado que cada polígono representa una terraza o tejado diferente, el número de polígonos es muy elevado y resulta muy costoso realizar el proceso. Es por ello que se ha automatizado todo el procedimiento programando una aplicación en *ArcGIS* 9.2 ([figura 9](#)). Los resultados obtenidos pueden observarse en la [figura 10](#).



## 5. Discusión

Como se ha comentado anteriormente, distintos autores han utilizado datos LiDAR para actualizar cartografía mediante detección de cambios (Murakami *et al.*, 1999; Vu *et al.*, 2004; Butkiewicz *et al.*, 2008; Rottensteiner, 2008; Matikainen *et al.*, 2010; Trinder, 2011). La detección de cambios en estos casos se realiza mediante la identificación de entidades en los datos LiDAR y su posterior comparación con la cartografía existente, o bien mediante la comparación de antiguos modelos digitales de superficie (MDS) con otros nuevos obtenidos a partir de datos LiDAR. Así mismo, una gran parte de los estudios se centran en la evaluación de daños causados por catástrofes naturales como terremotos o tsunamis (Vögtle y Steinle, 2004; Vu *et al.*, 2004; Rehor *et al.*, 2008; Trinder, 2011) y, por tanto, la escala de trabajo es media y el nivel de detalle alcanzado en la detección de cambios suele reducirse a la detección de zonas destruidas.

Por otro lado, distintos autores han propuesto metodologías de detección de cambios en datos LiDAR para actualizar cartografía (Vosselman *et al.*, 2004; Rottensteiner, 2008; Chaabouni-Chouayakh *et al.*, 2010; Chen y Lin, 2010; Matikainen *et al.*, 2010). En estos casos se trabaja con escalas medias (sobre 1:10.000) y las distintas metodologías se limitan a detectar nuevos edificios, demoliciones y edificaciones que han sufrido modificaciones, sin entrar en detalle en ningún caso en las modificaciones estructurales concretas de cada edificio afectado.

En este sentido, la metodología planteada presenta un cambio sustancial, ya que la actualización cartográfica se realiza a gran escala (1:500), permite detectar no solo cambios generales en la morfología de los edificios (como es el caso de las metodologías planteadas por otros autores), sino también cambios en la estructura geométrica de los mismos, como puede ser la construcción de nuevas alturas, terrazas o tejados.

Con respecto al proceso de actualización cartográfica, los estudios existentes únicamente se limitan a desarrollar metodologías que aplican técnicas de detección de cambios sobre datos LiDAR, sin entrar en detalles de cómo utilizar los cambios detectados para actualizar cartografía. El presente estudio va más allá y presenta una nueva metodología que abarca la totalidad del proceso, tanto la detección de cambios como la posterior actualización cartográfica. De tal forma que, a partir de distintas rutinas programadas en C++, los algoritmos desarrollados son capaces de detectar los edificios y sus características geométricas, exportando los datos para poder detectar cambios mediante operaciones SIG. Finalmente, tras realizar la actualización cartográfica 2D a partir de los cambios estructurales detectados en cada uno de los edificios y utilizando los datos LiDAR y ortofotografías, se presenta una rutina programada en *ArcGIS* que permite ajustar cada uno de los planos que conforman los edificios a la información altimétrica que proporcionan los datos LiDAR, obteniendo así cartografía catastral actualizada en 3D.

De esta forma se consigue actualizar cartografía 2D obsoleta que, en la mayoría de los casos, no es actualizada sino renovada en su totalidad por la imposibilidad de detectar zonas de cambios en la misma. Además, la transformación automática a cartografía 3D ofrece un valor añadido y da respuesta a las necesidades tanto del sector privado como público.

Con respecto a la bondad del método desarrollado, han sido detectados cambios de forma automática en el 60,9% de los edificios existentes en la cartografía catastral, de los cuales únicamente el 44,3 % habían sufrido realmente modificaciones físicas en su estructura, ya que el 16,5% restante se corresponde a solares detectados erróneamente como edificios. Esto deja patente la necesidad de realizar una revisión visual sobre la ortofoto tras la detección de cambios, con el fin de identificar solares que han sido detectados como edificios por error.

Una nueva línea de investigación queda abierta en este sentido ya que ésta es la única parte de la totalidad del proceso que no ha sido posible automatizar. Por tanto, para futuras investigaciones será necesario desarrollar algoritmos o aplicaciones capaces de diferenciar objetos existentes en solares (árboles, toldos, parques para niños, etc.) que son clasificados erróneamente como edificios.

## 6. Conclusión

Este trabajo presenta una metodología que permite detectar nuevas construcciones, así como modificaciones en construcciones ya existentes utilizando técnicas de detección de cambios aplicadas a partir de datos LiDAR. En la actualidad, la renovación de los catastros y la cartografía urbana se realiza de forma íntegra, llevando a cabo el levantamiento de la totalidad de los inmuebles debido a la dificultad de detectar cambios sobre el terreno o en ortofotografías. En este sentido, la metodología propuesta detecta automáticamente aquellas zonas del casco urbano que han sufrido modificaciones y permite disminuir considerablemente los costes en la actualización de cartografía urbana.

La metodología expuesta permite procesar grandes volúmenes de información de manera automática, en un primer paso, y supervisar los resultados derivados de manera visual, en un segundo paso. Esta última tarea puede realizarse mediante visitas en campo o mediante procedimientos semi-automáticos utilizando ortofotografías.

Por otro lado, los distintos algoritmos desarrollados permiten transformar cartografía urbana 2D a cartografía tridimensional, consiguiendo así un salto cualitativo considerable que permite utilizar dicha cartografía en multitud de nuevas aplicaciones, entre otras, el estudio de simulaciones ambientales, la gestión de instalaciones y el planeamiento de redes de comunicaciones.

Por último, notar que, aunque en la actualidad la tecnología LiDAR se utiliza principalmente para generar precisos MDT y MDS, el presente trabajo pone de manifiesto la eficacia del LiDAR en otras aplicaciones como la actualización cartográfica y la generación de cartografía 3D, quedando abiertas nuevas líneas de investigación, como la vectorización automática de contornos de los edificios detectados con fines cartográficos.

## Referencias bibliográficas

Armenakis, C.; Leduc, F.; Cyr, I.; Savopol, F. y Cavayas, F. (2003): "A comparative analysis of scanned maps and imagery for mapping applications", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57, pp. 304-314.

Borowiec, N. (2008): "Building extraction from ALS data based on regular and irregular tessellations", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 37, B6b, 125-131.

Butkiewicz, T.; Chang, R.; Wartell, Z. y Ribarsky, W. (2008): "Visual analysis and semantic exploration of urban LIDAR change detection", *Comput. Graph. Forum* 2008, 27, pp. 903-910.

Chaabouni-Chouayakh, H.; Krauss, T.; Angelo, P. y Reinartz, P. (2010): "3D Change detection inside urban areas using different digital surface models", *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 38, 3B, pp. 86-91.

Chen, L.-C. y Lin, L.-J. (2010): "Detection of building changes from aerial images and light detection and ranging (LIDAR) data", *Journal of Applied Remote Sensing*, 4, 041870.

Cheng, L.; Gong, J.; Li, M. y Liu, Y. (2011): "3D Building Model Reconstruction from Multi-view Aerial Imagery and Lidar Data", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 77, 2, pp. 125-139.

Haala, N. y Brenner, C. (1997): "Generation of 3D city models from airborne laser scanning data", *EARSEL Workshop on LIDAR remote sensing of land and sea*, pp. 105-112.

Hoffmann, A.; Van der Vegt, J. W. y Lehmann, F. (2000): "Towards automated map updating: is it feasible with new digital data-acquisition and processing techniques", *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33, B2, pp. 295-302.

Holland, D.A.; Sanchez-Hernandez, C. y Gladstone, C. (2008): "Detecting changes to topographic features using high resolution imagery", *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, B4, pp. 1153-1158.

Jung, F. (2004): "Detecting building changes from multitemporal aerial stereopairs", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, pp. 187-201.

Knudsen, T. y Olsen, B. P. (2003): "Automated change detection for updates of digital map databases", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69, 11, pp. 1289-1296.

Maas, H.-G. y Vosselman, G. (1999): "Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 2-3, pp. 153-163.

Matikainen, L.; Hyypä, J.; Ahokas, E.; Markelin, L. y Kaartinen, H. (2010): "Automatic Detection of Buildings and Changes in Buildings for Updating of Maps", *Remote Sens.*, 2, pp. 1217-1248.

Morgan M. y Habib A. (2001): "3D TIN for automatic building extraction from airborne laser scanning data", *Proceedings of the ASPRS "Gateway to the New Millennium"*, St. Louis, Missouri.

Murakami, H.; Nakagawa, K.; Hasegawa, H.; Shibata, T. y Iwanami, E. (1999): "Change detection of buildings using an airborne laser scanner", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, pp. 148-152.

Niederöst, M. (2001): "Automated update of building information in maps using medium-scale imagery", en Baltsavias, E. P., Gruen, A., Van Gool, L. (Eds.): *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III)*. Lisse, Swets & Zeitlinger, pp. 161-170.

Rehor, M.; Baehr, H.-P.; Tasha-Kurdi, F.; Landes, T. y Grussenmayer, P. (2008): "Contribution of two plane detection algorithms to recognition of intact and damaged buildings in lidar data", *The Photogrammetric Record*, 23, 124, pp. 441-456.

Rottensteiner, F. (2008): "Automated updating of building data bases from digital surface models and multi-spectral images", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, B3a, pp. 265-270.

Rottensteiner, F. y Briese, Ch. (2003): "Automatic generation of building models from lidar data and the integration of aerial images", *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, 3/W13, pp. 174-180.

Rutzinger, M.; Rüb, B.; Höfle, B. y Vetter, M. (2010): "Change detection of building footprints from airborne laser scanning acquired in short time intervals", *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 7B, pp. 475-480.

Schwalbe, E. (2004): "3D building model generation from airborne laserscanner data by straight line detection in specific orthogonal projections", *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 35, B, pp. 249-254.

Tóvári, D. y Vögtle, T. (2004): "Classification methods for 3D objects in laser scanning data", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXV, part B3 (6 páginas en CDROM).

Trinder, J. (2011): "Disaster change detection using airborne LiDAR", *Proceedings of the Surveying & Spatial Sciences Biennial Conference*, Wellington, New Zealand, pp. 231-242.

Tse, R.O.C.; Gold, C.M. y Kidner, D.B. (2007). "Building reconstruction using LiDAR data", *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 28-29 August, Xingjiang, China, pp. 121-126.

Vögtle, T. y Steinle, E. (2004): "Detection and recognition of changes in building geometry derived from multitemporal laserscanning data", *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35, B2, pp. 428-433.

Vosselman, G.B.; Gorte, H. y Sithol, G. (2004): "Change detection for updating medium scale maps using laser altimetry", *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35, B3.

Vu, T.T.; Matsuaoka, M. y Yamazaki, F. (2004): "LIDAR-based Change Detection of Buildings in Dense Urban Area", *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing symposium*, Anchorage, Alaska, US, pp. 342-3416.

Walter, V. (2004): "Object-based classification of remote sensing data for change detection", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, pp. 225-238.

Zhang, D. y Du, P. (2011): "3D building reconstruction from lidar data based on Delaunay TIN approach", *Proc. SPIE 8286*, 828612 (2011); doi:10.1117/12.912830.

## TABLAS

**Tabla 1. Criterios para la clasificación de entidades**

Calle	Será siempre el grupo que esté constituido por un mayor número de puntos
Árboles y automóviles	Serán aquellos grupos constituidos por poca cantidad de puntos y que están rodeados por el grupo calle en todas las direcciones
Edificios (planos o terrazas)	Serán todos aquellos grupos que no hayan sido clasificados como calles, automóviles o árboles.

**Tabla 2. Resultados obtenidos en la actualización**

Número de edificios en cartografía catastral original	151
Número de edificios detectados en cartografía generada a partir de datos LiDAR	243
Número de planos pertenecientes a solares erróneamente detectados como edificios	25
Total de edificios finalmente actualizados	67

## FIGURAS



**Figura 1. Casco urbano test, situado en la Vall d'Uixó.**



**Figura 2. Datos LiDAR dispuestos en triangulación de Delaunay.**

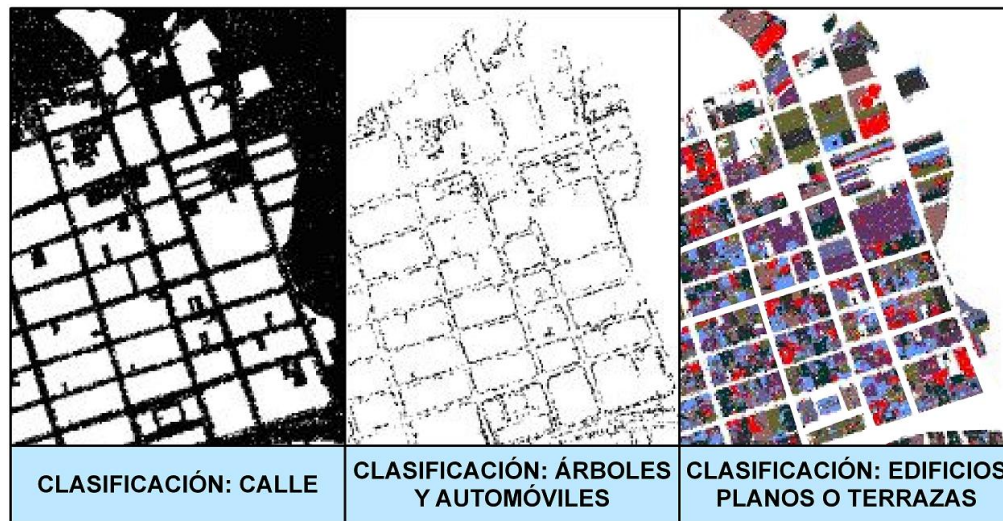


Figura 3. Clasificación de entidades.

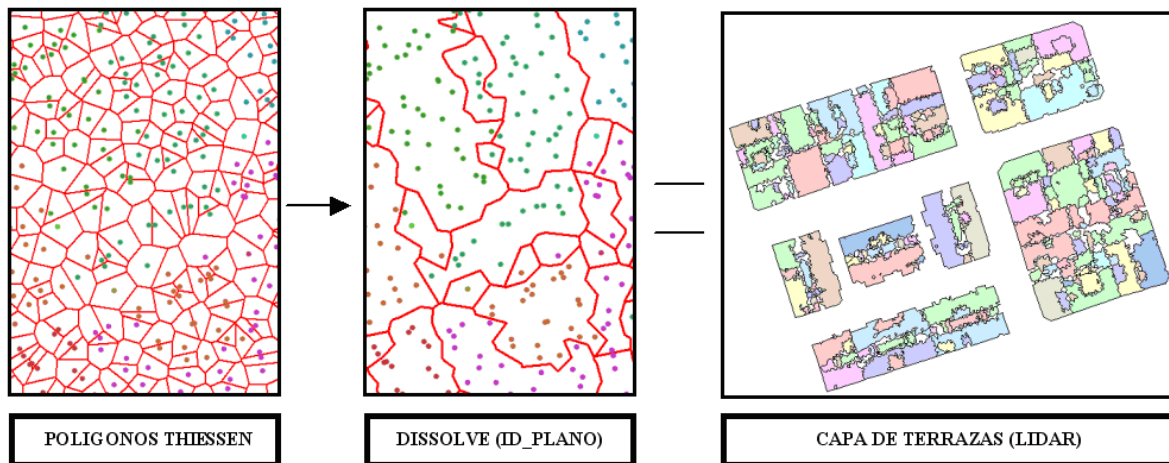


Figura 4. Generación de capa de polígonos a partir de datos LiDAR (puntos).

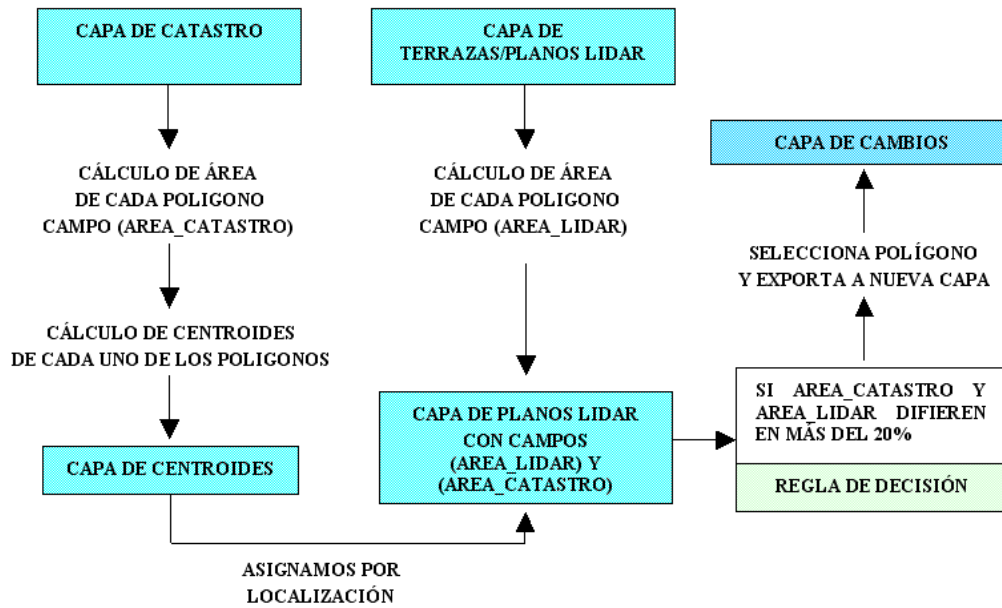


Figura 5. Generación de capa de cambios mediante análisis con SIG.

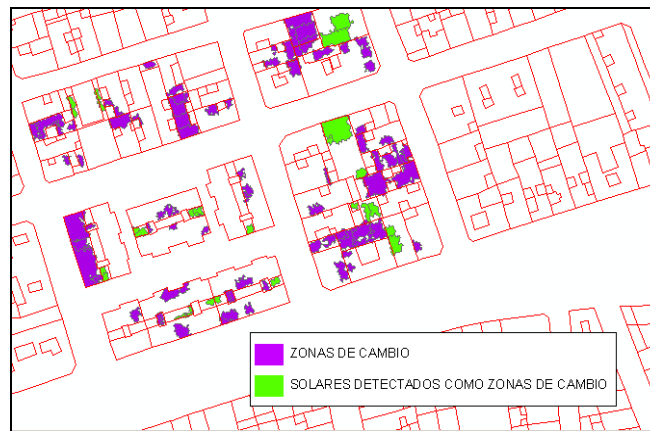


Figura 6. Zonas de cambio detectadas.

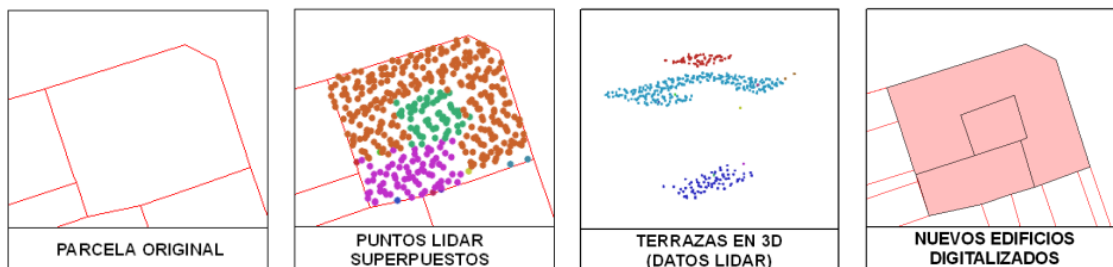


Figura 7. Proceso de actualización cartográfica.



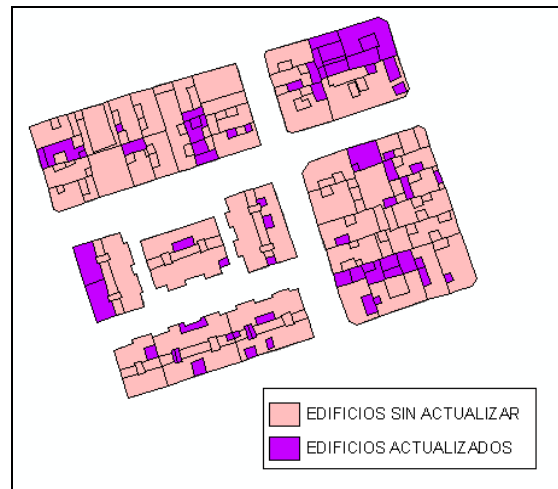


Figura 8. Edificios finalmente actualizados.

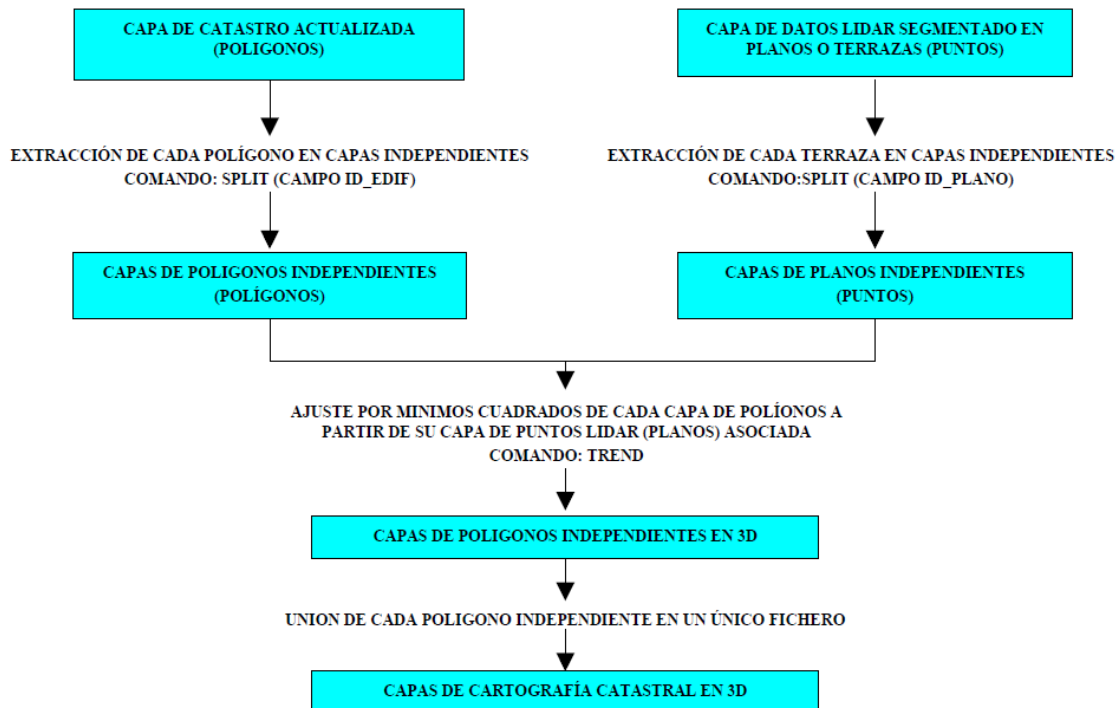
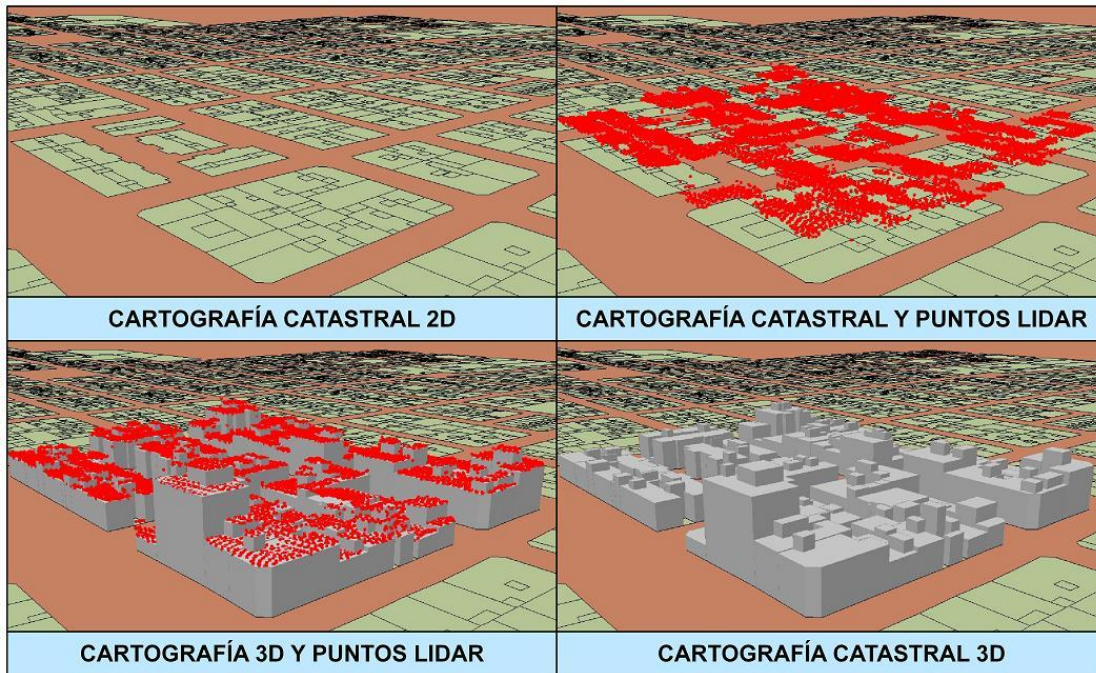


Figura 9. Rutinas programadas para transformar cartografía urbana 2D a 3D.



**Figura 10. Procedimiento de transformación a cartografía**