DielmoOpenLiDAR: control de calidad de datos LiDAR y generación de productos finales.

José Carlos García[1]

[(1)] .Director General de DIELMO 3D SL. dielmo@dielmo.com, Plaza Vicente Andrés Estellés 1 Bajo E, 46950 Xirivella, Valencia (Spain)

RESUMEN

Desde hace más de 5 años DIELMO 3D S.L. ha estado trabajando en el desarrollo de software para el procesado de datos LiDAR, usándolo internamente para la producción de Modelos Digitales del Terreno (MDT) en numerosos proyectos. Finalmente, con la ayuda de la CIT hemos decidido tomar la iniciativa de crear un nuevo software libre basado en gvSIG para el manejo de datos LiDAR.

En primer lugar haremos una introducción a la tecnología LiDAR, comentando los fundamentos básicos, los datos originales que se obtienen después de un vuelo y las aplicaciones o productos finales que se pueden generar a partir de la tecnología LiDAR.

Una vez familiarizados con este tipo de datos, mostraremos el uso del driver desarrollado por DIELMO para el acceso, visualización y análisis de datos LiDAR originales en formato LAS y BIN para grandes volúmenes de datos. Por último comentaremos las herramientas que se están desarrollando para realizar controles de calidad a los datos originales y generar diferentes productos finales a partir de los datos originales: Modelo Digital del Terreno (MDT), Modelo Digital de Superficie (MDS) e imagen de intensidades.

Palabras clave: *LiDAR, DielmoOpenLiDAR, MDT, software libre.*

INTRODUCCIÓN

Fundamentos de la tecnología LiDAR

El LiDAR aerotransportado (Light Detection And Ranging) es un sistema activo basado en un sensor láser que se puede instalar en aviones o helicópteros. Esta tecnología está sustituyendo cada vez más a los métodos basados en fotogrametría para obtener MDT de alta precisión, porque consigue disminuir los costes y plazos de entrega a la vez que se obtienen precisiones mejores de 15cm en altura y una mayor densidad de medidas.

El funcionamiento del LiDAR consiste en un sensor de barrido que realiza la emisión de pulsos láser y mide el tiempo que tardan dichos pulsos en llegar a la superficie terrestre y volver hasta el sensor. Actualmente hay instrumentos LiDAR que miden hasta con una frecuencia de 150 Khz, lo que quiere decir que emiten y reciben 150.000 pulsos láser por segundo.

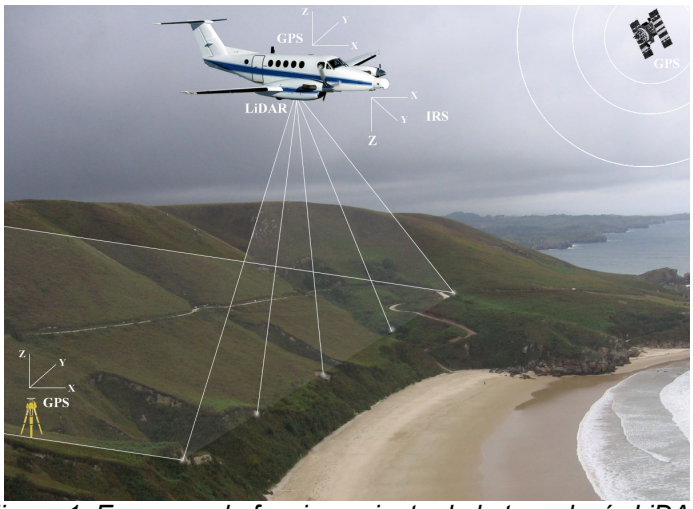

Figura 1. Esquema de funcionamiento de la tecnología LiDAR

En principio todos los rayos láser salen en una única dirección apuntando hacia abajo, pero hay un espejo rotatorio que los desvía a ambos lados del avión con un ángulo de apertura configurable, de forma que se realiza un barrido de una determinada franja del terreno (la anchura dependerá de la altura del vuelo) conforme avanza el avión.

Por otro lado, en el avión hay instalado un GPS que permite posicionar en tiempo real al instrumento, para saber en cada momento donde se encuentra. Para aumentar la precisión en el posicionamiento del instrumento, se utiliza un GPS diferencial en tierra (también se pueden utilizar estaciones de referencia como la red de estaciones permanentes GPS del IGN está conformada actualmente por 17 estaciones a lo largo de todo el territorio Español). Después de realizar el vuelo se combinan los datos GPS del avión con los del GPS diferencial en tierra, para obtener precisiones de 5 cm en la posición del instrumento.

Por último, se dispone del sistema de navegación inercial del avión (IRS) que mide con una precisión de 0.001 grados las variaciones en la orientación del avión debidas a turbulencias, pequeños giros, inclinaciones, etc., de forma que se pueden compensar dichos movimientos.

Combinando toda esta información (distancia medida con el láser, ángulo del espejo que realiza el barrido, posición exacta del instrumento con GPS y sistema de navegación inercial), podemos obtener la medición de la altura del terreno con una precisión mejor que 15 cm en Z.

Cuando el rayo láser llega al terreno se comporta de forma diferente dependiendo de las características de los objetos que se encuentre. En la figura 2 vemos tres casos posibles.

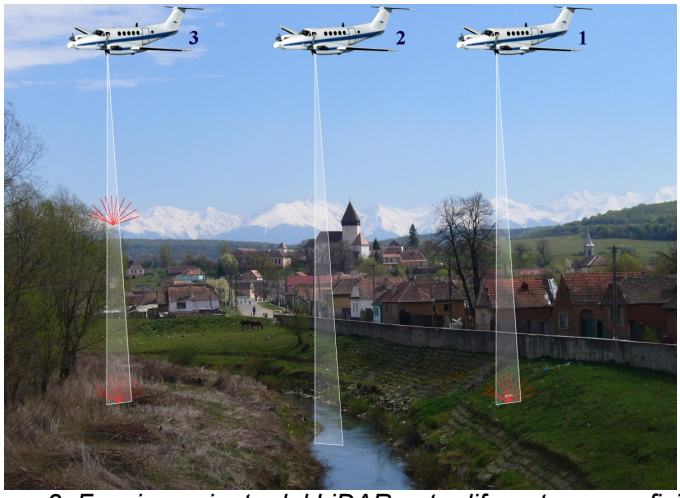

Figura 2. Funcionamiento del LiDAR ante diferentes superficies.

1. En una **superficie sólida** (edificios, suelo, etc.), el rayo se refleja sin ningún problema y vuelve al avión.

2. En el **agua** el rayo láser sufre una reflexión especular y no vuelve al avión, por lo que no se obtiene ninguna información, apareciendo un hueco sin datos que habrá que interpolar a partir de las alturas de alrededor o de otros datos batimétricos de los que se pueda disponer.

3. En el caso de la **vegetación**, el rayo choca en primer lugar con la copa del árbol. En este momento parte del rayo se refleja y vuelve al avión, pero al tratarse de una superficie no sólida, hay otra parte del rayo que atraviesa la vegetación hasta llegar al suelo y vuelve al avión. El sistema guarda las coordenadas y alturas del primer y último pulso.

Una de las ventajas de la tecnología LiDAR consiste en la posibilidad de medir para cada pulso el primer y el último de los rebotes que vuelven al avión. Esto permite (con la configuración de vuelo adecuada) medir la altura del terreno en zonas completamente cubiertas por la vegetación, lo cual no es posible con técnicas de medición clásicas como la fotogrametría.

Un proyecto LiDAR se puede dividir en dos bloques claramente diferenciados: la adquisición de los datos y el procesado de los mismos. Hasta el momento hemos hecho referencia a la parte de adquisición de los datos, pero sin duda la parte más importarnte está en el procesado de los datos para obtener los diferentes productos finales. Los productos estándar obtenidos después del procesado de los datos LIDAR se muestran en la figura 3.

Figura 3. Productos estándar obtenidos después del procesado de datos LIDAR.

- **Nube de puntos irregular** correspondiente a los puntos LiDAR originales.

- **MDS** (Modelo Digital de Superficie) se obtiene interpolando los puntos del primer pulso. Aquí podemos distinguir las alturas de los edificios, vegetación, puentes, coches, farolas, etc., como vemos en la parte izquierda de la figura 3.

- **MDT** (Modelo Digital del Terreno) se obtiene interpolando los puntos del último pulso, eliminando los puntos que no pertenecen al terreno. Lo vemos en la parte derecha de la figura 3, donde se aprecia que hemos simulado la misma zona pero eliminando edificios, vegetación y demás objetos no pertenecientes al terreno.

- **Clasificaciones** de los puntos pertenecientes a suelo, vegetación, edificios, puentes, líneas eléctricas, etc.

- **Imagen de intensidades**. A partir de la amplitud de la señal que vuelve al avión después de rebotar en la superficie terrestre obtenemos una imagen de intensidades que permite realizar distinciones entre superficies, identificando carreteras, etc. Una muestra de una imagen de intensidades la vemos en la figura 4.

Figura 4. Imagen de intensidades obtenida a partir de la amplitud de los pulsos que vuelven al avión

A partir de estos productos estándar, se pueden obtener otros productos derivados que se pueden aplicar a numerosas aplicaciones. A continuación vemos algunas de las aplicaciones para las que se puede utilizar la tecnología LiDAR.

APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA LIDAR

Las principales aplicaciones para las que se suele utilizar la tecnología LiDAR son:

- Cartografía para estudios de inundaciones: una de las principales aplicaciones para lo que se esta usando esta tecnología en España es para la realización de estudios de hidráulicos y de inundabilidad. Para este tipo de trabajos se necesitan nuevas mediciones precisas de las alturas del terreno. Habitualmente todos estos trabajos se realizaban con fotogrametría (se genera cartografía de detalle a partir de imágenes aéreas y con esa cartografía luego se produce el MDT), lo que conlleva un elevado coste y largos plazos de entrega. Con la tecnología LIDAR se pueden medir grandes extensiones con un menor coste, menor plazo de entrega, se dispone de una medición de alturas para cada metro cuadrado del terreno (mientras que en zonas planas, las curvas de nivel pueden estar muy separadas y al interpolar el MDT no es tan realista), permite medir las alturas del terreno debajo de la vegetación, menor dependencia con las condiciones climáticas, se pueden volar muchos más días al año, al ser un sensor activo no necesita la luz del sol y se puede volar de día o de noche o con nubes altas.

Figura 5. Cauce del río Palancia: presa del Algar.

Desde hace varios años y cada vez más, los organismos públicos encargados de realizar estudios hidráulicos exigen la utilización de tecnología LiDAR para la generación de MDT de alta precisión.

- Aplicaciones en zonas urbanas: Otra de las principales aplicaciones de la tecnología LIDAR es para la medición de zonas urbanas para la planificación de redes de telecomunicaciones, detección de construcciones ilegales, planes de emergencia, aplicaciones de ingeniería y otras aplicaciones SIG.

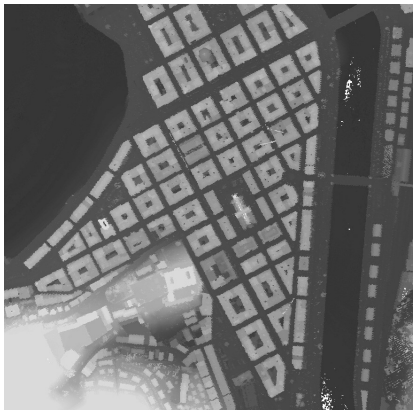

Figura 6. Nube de puntos original medida con tecnología LIDAR en una ciudad.

En la figura 6 vemos un ejemplo de la nube de puntos LiDAR original para una zona urbana. Como podemos ver se aprecian las alturas de todo lo que está en la superficie: edificios, vegetación, puentes, coches, farolas, personas, etc. Con las clasificaciones pertinentes, se pueden obtener modelos con la altura de los edificios, altura de la vegetación, etc.

- Aplicaciones en el mantenimiento de líneas eléctricas: Si instalamos el instrumento LIDAR en un helicóptero, de forma que se pueda volar más bajo y despacio, podemos medir con gran precisión las líneas de alta tensión.

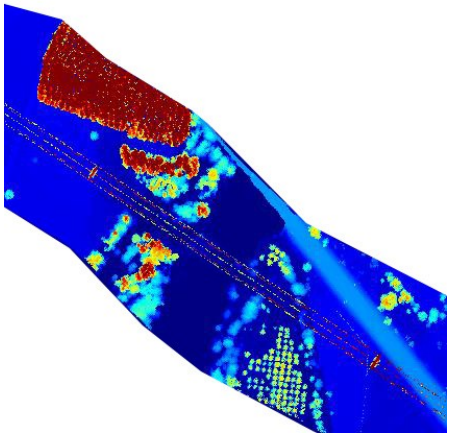

Figura 7. Medición de líneas de alta tensión con tecnología LIDAR

En este caso el primero de los rebotes corresponde con la altura de los cables y el último con la altura del suelo. De esta forma se puede localizar los árboles que se acercan peligrosamente a los cables y que por lo tanto deben de ser talados, así como construcciones ilegales que estén a una distancia inferior a lo permitido. También se pueden localizar las torres y sacar modelos de catenarias.

Aunque no obtengamos tanto detalle, desde avión con menos puntos por metro cuadrado algunos puntos si caerán sobre los cables y también podemos hacer un inventario de los objetos que se acercan a los cables.

- Actualización de cartografía: También se pueden utilizar los datos LiDAR para la actualización de cartografía digital, mediante la extracción de curvas de nivel del MDT, extracción de las alturas de los edificios, etc.

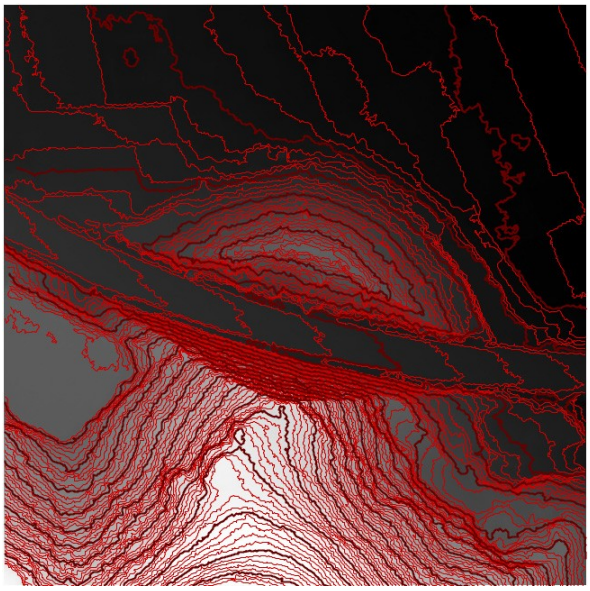

Figura 8. Extracción automática de curvas de nivel cada 1m a partir de un MDT LiDAR.

– **Para proyectos de ingeniería:** Cartografía para proyectos de ingeniería civil: carreteras, líneas de ferrocarril, etc. Para mapas de ruido, inventario, estimación precisa de movimientos de tierras, visualización 3D y otras aplicaciones SIG.
–

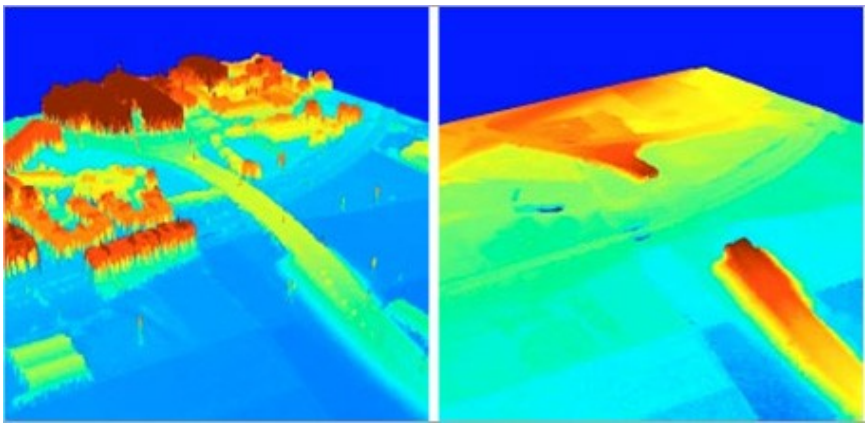

Figura 9. Uso del LiDAR para aplicaciones de ingeniería.

- Telecomunicaciones: Cartografía para proyectos de telecomunicaciones donde se necesitan MDT precisos, actualizados y con la altura de los edificios. A parte del MDT con la altura de los edificios, con la tecnología LiDAR también se puede extraer una clasificación de los edificios, para usarla como una capa clutter y otra capa solamente con la altura de los edificios.

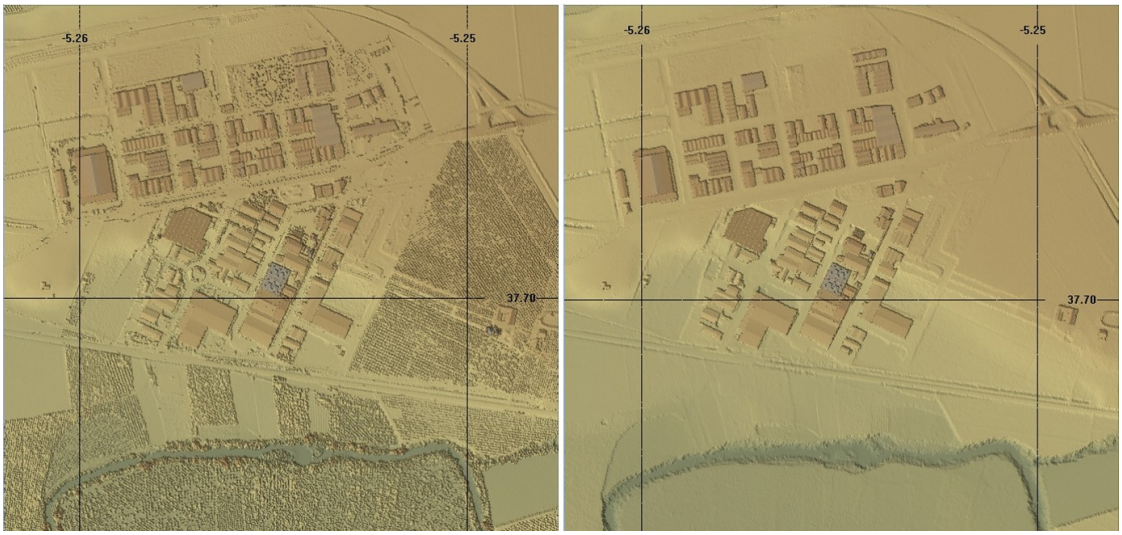

Figura 10. A la izquierda MDS y a la derecha MDT+altura de edificios a partir del LiDAR.

- Gestión de la línea de costa: Con series temporales de vuelos LiDAR se puede evaluar la evolución de la línea de costa, las dunas, etc.

Figura 11. Uso del LiDAR para el seguimiento de la línea de costa. Imagen de DIELMO 3D.

- Aplicaciones en el campo forestal: Dentro del campo forestal la tecnología LiDAR tiene una gran aceptación, gracias a la ventaja de poder medir tanto la altura de la parte alta de la vegetación como la altura del terreno, lo que permite obtener directamente la altura de la vegetación incluso en zonas de vegetación densa donde con el uso de sensores ópticos no es posible tener una visión directa del terreno.

Con el LiDAR se puede calcular de forma precisa la altura de cada árbol individual, localizar la posición del tronco de cada árbol individual, realizar cálculos de volúmenes, obtener la altura media del rodal, estudiar la calidad de la madera, realizar cálculos del índice de área foliar (LAI), etc. Todos estos parámetros son de especial importancia a la hora de realizar un inventario forestal y actualmente se obtienen mediante estimaciones realizadas con trabajo de campo.

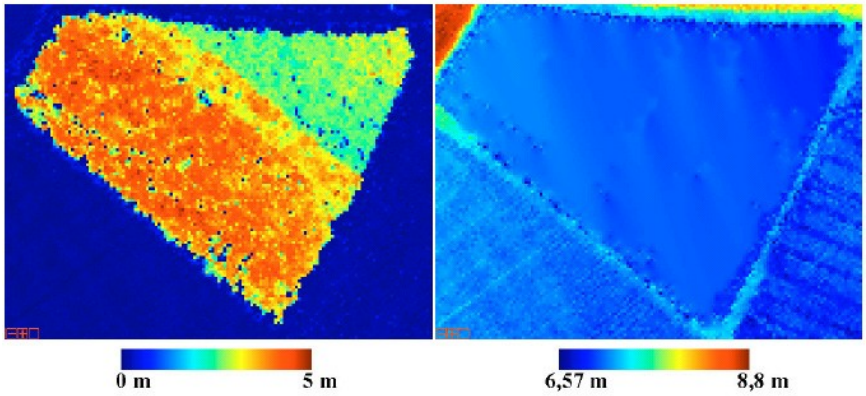

Figura 12. Medición de la altura de la vegetación con LIDAR. Imagen de DIELMO 3D.

En la figura 12 vemos a la izquierda una imagen con las alturas de los árboles (vemos que en este caso varían desde 0 hasta 5m) y en la derecha el Modelo Digital del Terreno (MDT). Para obtener las alturas de la vegetación se le resta al MDS el MDT y luego se hace una clasificación de los puntos que pertenecen a la vegetación o a otros objetos como edificios, etc.

- Generación de ortofotos: La principal ventaja que aporta la tecnología LiDAR está en la rapidez de las medidas y el procesado previo de los datos. Posteriormente tardaremos más en realizar las clasificaciones y el Modelo Digital del Terreno (MDT), pero una primera versión con un control de calidad de los errores más gruesos suficiente para hacer ortofotos se puede obtener de forma más rápida y precisa que en el caso de hacer un MDT por correlación automática. Esto es determinante a la hora de elegir esta tecnología cuando se necesita reducir al máximo los plazos de entrega.

Figura 13. MDT PNOA 2006 (izquierda), MDS LiDAR 2004 (centro), MDT LiDAR 2004 (derecha). Imágenes de DIELMO 3D.

Está demostrado que la tecnología LiDAR ofrece ventajas para las aplicaciones que hemos descrito en este documento y a muchas más. Por ejemplo, actualmente en el caso de España para la mayoría de los estudios de inundabilidad la administración exige que la adquisición de los datos se realice con tecnología LiDAR. Sin embargo, para otras muchas aplicaciones no se hace un uso extensivo del LiDAR porque no se pueden pagar los elevados costes de adquisición.

Hace unos años había muy pocos datos LiDAR disponibles, limitándose a pequeños proyectos para zonas inundables, etc., pero la tendencia es que en pocos años se disponga de grandes extensiones de terreno (Comunidades Autónomas y países) voladas con tecnología LiDAR. Por ejemplo, en el año 2005 se realizó la adquisición de los datos LiDAR de toda Gipuzkoa y el barrido global del territorio se actualizará cada dos años. Este fué el primer proyecto en España que realizaba la

adquisición de todo un territorio con tecnología LiDAR, pero por ejemplo en 2008 se realizó la adquisición del resto del País Vasco, se está volando toda Cataluña y recientemente el Instituto Geográfico Nacional acaba de aprobar que el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) se vuele también con tecnología LiDAR, con lo que habrá disponibles datos LiDAR gratuitos de toda España actualizados cada 4 años.

Como vemos, se tiende a que cada vez haya más datos LiDAR disponibles que cubran grandes extensiones del territorio y toda esta información será libre para que cualquiera pueda acceder a ella. Esto hace que aumente considerablemente el número de usuarios potenciales de este tipo de datos, pero sin embargo, observamos que no hay herramientas accesibles para tratarlos y debido al elevado coste de las licencias de software comerciales que permiten el tratamiento de este tipo de datos, el número de usuarios con capacidad de explotar los datos LiDAR se reduce solamente a los proveedores de datos LiDAR. Esto hace que los usuarios finales no puedan manejar los datos LiDAR originales, sin la capacidad de realizar un control de calidad adecuado de los trabajos que contratan, ni corregir los errores observados en dichos productos, ni aprovechar los datos gratuitos para la elaboración de otros productos finales.

Por lo tanto, se hace necesaria la aparición de un software libre sencillo, flexible y potente, que sea un punto de encuentro para productores, usuarios y desarrolladores relacionados con la tecnología LiDAR, permitiendo la visualización, producción y control de calidad sobre los productos finales, mejorar los productos finales ya existentes y desarrollar nuevos productos finales de valor añadido integrándolos de forma sencilla dentro de un sistema de información geográfica libre como gvSIG.

Para ello DIELMO 3D S.L. aporta su experiencia investigadora en el ámbito de la teledetección, el desarrollo de software para la generación y tratamiento de modelos digitales del terreno y para el procesado de datos LiDAR, además del conocimiento del mercado al ser uno de los principales proveedores de datos LiDAR en España y haber trabajado en numerosos proyectos de adquisición y procesado de datos LiDAR para diferentes aplicaciones.

CONTROL DE CALIDAD DE DATOS LIDAR

En 2008 DIELMO comenzó el desarrollo del software libre DielmoOpenLiDAR, que es un software libre con licencia GNU GPL basado en gvSIG para el manejo de datos LiDAR. La fase inicial (ya publicada) consiste en un driver para el acceso a datos LiDAR en gvSIG. Este driver es la base para el manejo de los datos en diferentes formatos estándar, de forma que se ha dotado a gvSIG con las herramientas básicas que permiten a los desarrolladores el trabajar con datos LIDAR de la forma más transparente y sencilla posible. Por otro lado, también se permite abrir datos LiDAR originales (LAS y BIN), visualizarlos superpuestos a cualquier otra información geográfica, consultar los valores originales de cada uno de los puntos y editarlos, realizar un análisis visual de los datos y un control de calidad de los mismos.

En primer lugar, los botones de leyendas automáticas se pueden usar como una herramienta de análisis visual de los datos. Estas leyendas automáticas dibujan los puntos LiDAR en un color por aleatorio por defecto, o en función de la altura, intensidad y clasificación.

El botón que corresponde a la leyenda por defecto dibuja cada capa con un color aleatorio. Esta leyenda es la que se aplica por primera vez al cargar una capa y es muy útil cuando hay varias capas en la vista donde se puede apreciar por el color qué puntos pertenecen a una capa u a otra. El primer control de calidad que podemos

hacer es abrir en una misma vista de gvSIG todas las capas LiDAR de la zona de estudio junto con el polígono de la zona de interés, comprobando si se ha volado toda la zona.

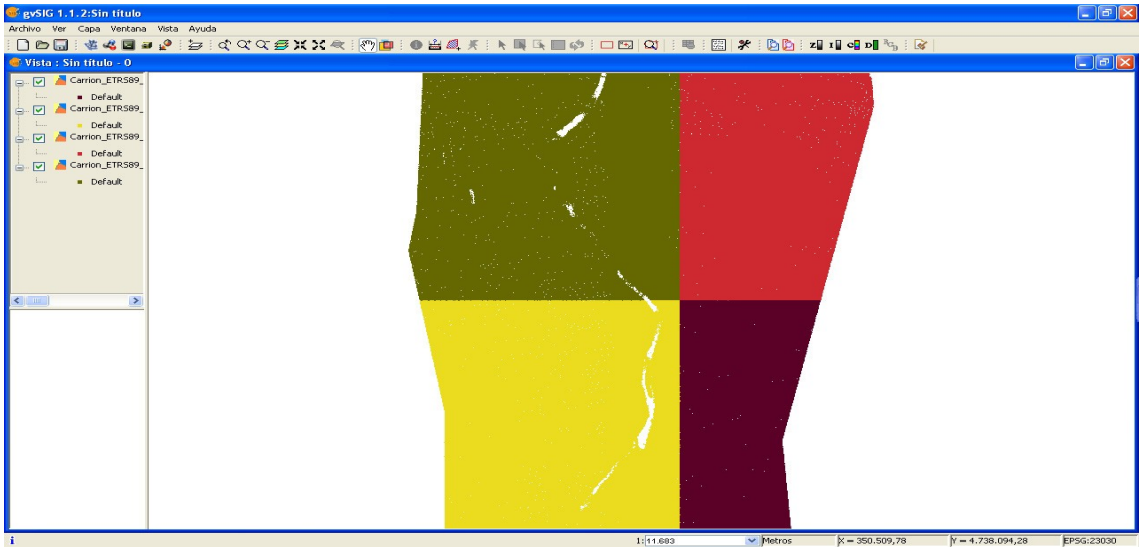

Figura 14. Ejemplo de leyendas por defecto.

En el caso de que se disponga de un fichero de puntos LiDAR ya clasificados, podemos utilizar el botón que aplica la leyenda en función de la clasificación superponiendo a la vez una ortofoto para comprobar si las clasificaciones son correctas.

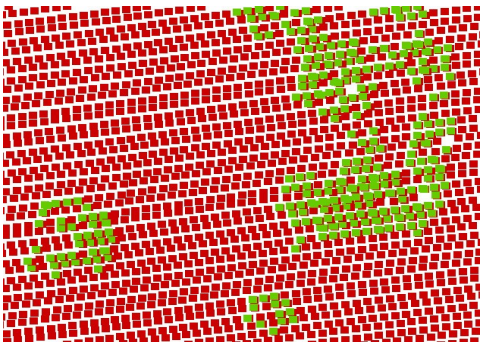

Figura 15. Ejemplo de una leyenda en función de la clasificación.

Por último tenemos los botones que aplican la leyenda en función de la altura o la intensidad, ambas se calculan de la misma forma en función de los valores de la tabla asociada, calculando una estadística a partir de los puntos visibles en la vista. Esto permite ajustar el histograma de forma automática para una mejor visualización de los datos.

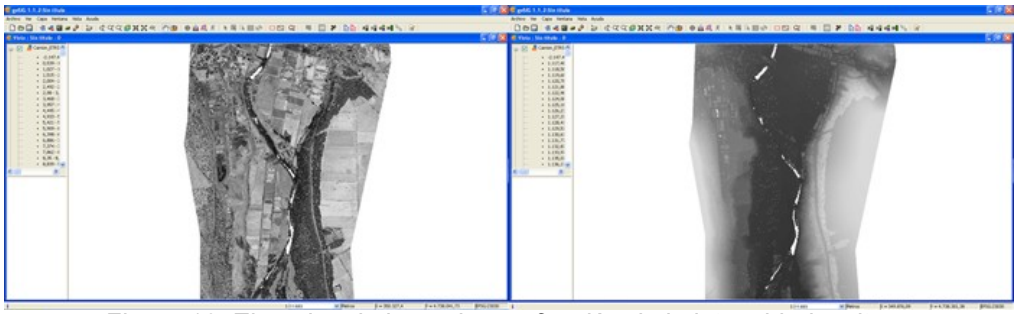

Figura 16. Ejemplos de leyendas en función de la intensidad y altura.

La velocidad con la que se puede pasar de un tipo de simbología a otra a pesar del gran volumen de datos que somos capaces de manejar, hace de DielmoOpenLiDAR una herramienta ideal para un análisis visual de los datos.

Además, al poder superponer dentro de una misma vista datos LiDAR con cualquier otra fuente de datos GIS, nos permite comprobar la precisión de los datos LiDAR tanto en planimetría como en altimetría. Por un lado, para comprobar la planimetría podemos usar como referencia ortofotos o cartografía vectorial disponible de la zona. Por otro lado, para comprobar la altimetría podemos realizar un levantamiento topográfico en campo en una zona plana, por ejemplo se suele hacer en un campo de fútbol que caiga dentro de la zona de estudio, y superponer los puntos XYZ medidos con el GPS diferencial junto con los datos LiDAR.

En la figura siguiente vemos unos datos LiDAR pintados en función de la altura, superpuestos a una serie de puntos XYZ medidos en campo con alta precisión mediante un GPS diferencial. Simplemente consultando la información asociada a los puntos LiDAR más cercanos a los puntos medidos con GPS podemos comprobar las diferencias en altura y obtener el error medio y la desviación estándar correspondiente.

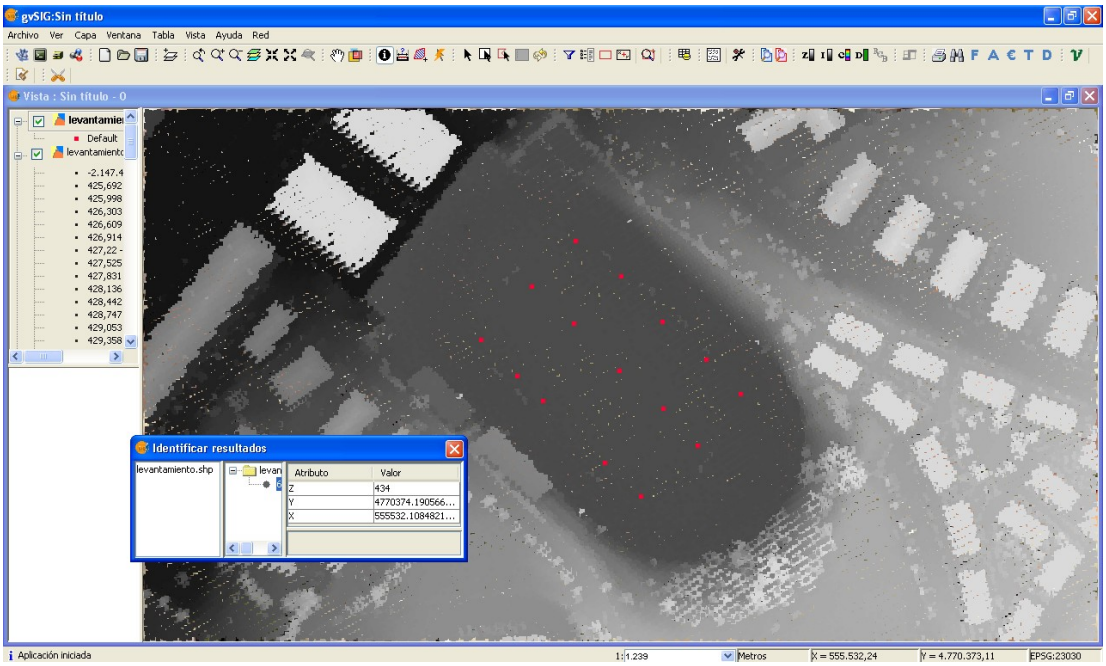

Figura 17. Datos LiDAR superpuestos a un levantamiento topográfico para comprobar la precisión en altura.

GENERACIÓN DE PRODUCTOS FINALES

Una vez establecidas en la fase anterior las bases para los desarrollos relacionados con datos LiDAR en gvSIG, la segunda fase consistirá en desarrollar todas las herramientas necesarias para poder realizar un procesado de datos LiDAR completo con gvSIG. Por un lado habrá que dotar a gvSIG de algoritmos de cálculo automáticos y por otro lado habrá que implementar herramientas de edición manual que permitan realizar una edición manual de los resultados para corregir posibles errores.

Las herramientas automáticas permitirán:

- Exportar entre los diferentes formatos de datos LiDAR, con funciones de filtrado, operaciones matemáticas, unión de diferentes ficheros en uno solo, división de ficheros grandes en bloques más pequeños por una región geográfica o según el tamaño del fichero, etc.
- Crear informes basados en el análisis de los datos. Por ejemplo medir la densidad de puntos por metro cuadrado, la distancia entre puntos en las direcciones X, Y, medir la precisión de los datos comparándolos con medidas de campo, comprobar los errores residuales en el ajuste entre pasadas, etc.
- Dividir todos los datos de un proyecto en bloques más pequeños (de forma manual o automática) que permitan el manejo de toda la información y rasterizar los datos LiDAR originales.
- Realizar clasificaciones automáticas para determinar qué puntos pertenecen al suelo, edificios, vegetación, para crear productos finales estándar como Modelos Digitales del Terreno (MDT), Modelos Digitales de Superficies (MDS), imágenes de intensidades, clasificaciones de edificios, clasificaciones de vegetación, clasificaciones de puentes y productos derivados: altura de los edificios, altura de la vegetación, MDT + edificios, MDT – puentes, MDT + edificios – puentes, etc.
- Realizar el mosaico de bloques y exportar los productos finales a los formatos adecuados.

La intención es que DielmoOpenLiDAR se convierta en un referente para la comunidad científica especializada en el procesado de datos LiDAR gracias a su potencia y facilidad a la hora de implementar nuevos algoritmos. Por este motivo, la idea es permitir a los usuarios añadir nuevos algoritmos que complementen los ya existentes o añadan nuevas aplicaciones, integrándolas de forma más sencilla y transparente, sin necesidad de que tengan que preocuparse de la parte gráfica, sino que solamente implementen su algoritmo. Considerar que el uso de SEXTANTE es adecuado para esto y hará crecer el proyecto con las aportaciones de diferentes grupos de investigación interesados en desarrollar este tipo de herramientas.

También está previsto el permitir la creación de flujos de trabajo de forma gráfica a partir de las funciones existentes, de forma que se puedan automatizar los procesos siguiendo el orden y algoritmos definidos por el usuario y ejecutarlos por lotes.

Por muy sofisticados que sean los métodos de clasificación automática, es imposible el tener un 100% de aciertos, por lo que para que este software sea útil no solamente para investigación sino también para producción, se hace necesaria la implementación de herramientas que permitan realizar un adecuado control de calidad de los productos finales descritos en los puntos anteriores con herramientas de edición manual inteligente (semiautomática) para realizar las correcciones necesarias de la forma más rápida y precisa posible.

A partir de los productos básicos que hemos conseguido producir en la segunda fase del proyecto, la tercera fase consiste en desarrollar herramientas inteligentes para la creación de nuevos productos finales de valor añadido como:

- Vectorización de edificios y estructuras.
- Vectorización de líneas eléctricas y localización de objetos (como árboles o construcciones ilegales) que se acercan a la línea eléctrica para su mantenimiento.
- Estimación de parámetros forestales (contar árboles, estimar la altura de los árboles, medir la altura media de un rodal, obtener parámetros de calidad de la madera...).
- Extracción de curvas de nivel para la actualización de cartografía digital.

- Detección de cambios para localizar construcciones ilegales, evolución de la línea de costa, etc.
- Mejora de los MDT para su utilización en estudios hidráulicos.