

EXPERIENCIAS Y APLICACIONES DEL LIDAR

A. Ruiz, W. Kornus
Institut Cartogràfic de Catalunya
Parc de Montjuïc, s/n
08038-Barcelona

Palabras clave: Modelos del terreno, LIDAR

Resumen

Presentamos nuestras experiencias en cartografía LIDAR y hacemos un repaso de los fundamentos y posibilidades de esta técnica de captura de datos.

En noviembre de 2001 el ICC adquirió un sistema LIDAR Optech ALTM 3025. Desde esta fecha y en un corto periodo de tiempo se ha desarrollado una metodología propia de trabajo para la producción de modelos del terreno a partir de los datos capturados con este equipo. El primer gran proyecto en el que hemos trabajado es la generación de un modelo de alta resolución para el estudio de los riesgos de inundación del río Ter. También hemos realizado pequeños proyectos para demostrar las numerosas aplicaciones en las que podemos emplear los datos capturados con este instrumento. Se presentan los resultados obtenidos en estos proyectos: modelos del terreno de alta resolución, modelos de ciudades, modelos para el estudio y la gestión de costas, aplicaciones forestales, cartografiado de líneas eléctricas, etc.

1. Introducción al LIDAR

El LIDAR aerotransportado es un equipo que consta de un distanciómetro láser y de un espejo que desvía el haz perpendicularmente a la trayectoria del avión. Este desplazamiento lateral combinado con la trayectoria del avión permite realizar un barrido del terreno. El sistema mide la distancia del sensor al terreno a partir del tiempo que tarda el rayo de luz en alcanzar el suelo y regresar al sensor. Si conocemos las coordenadas y ángulos de actitud del avión y el ángulo del espejo, podemos calcular a partir de estos datos y de las distancias medidas las coordenadas de los puntos. El LIDAR aerotransportado requiere orientación directa. Trabaja en combinación con un sistema de GPS diferencial (DGPS) y un sistema inercial de navegación (INS).

El resultado de un vuelo LIDAR es una colección de puntos con coordenadas conocidas. Nuestro sistema es capaz de medir 25000 puntos por segundo desde una altitud máxima de 3000 m sobre el terreno. Para cada pulso emitido puede detectar hasta dos ecos y para cada uno de ellos registra también la intensidad reflejada.

El sistema es muy versátil. El ángulo y la frecuencia de barrido lateral se pueden ajustar teniendo en cuenta la altitud sobre el terreno y la velocidad del avión de manera que la densidad de puntos sobre el terreno sea la deseada. También es posible elegir entre dos divergencias posibles del haz láser con lo que el diámetro de la superficie iluminada por cada pulso puede variar entre unos 20 y unos 100 cm dependiendo de la altitud de vuelo. Las fórmulas más corrientes que se emplean en estos cálculos están recogidas en (Baltsavias 1999).

2. Proceso de datos LIDAR

Podemos distinguir 4 etapas en el proceso de datos: el cálculo de la trayectoria y orientaciones del sensor mediante DGPS/INS, la generación de los archivos de puntos con coordenadas, la clasificación de los puntos y la generación de modelos a partir de los puntos clasificados. Hay que realizar también unos vuelos previos de calibrado del sistema sobre un edificio de coordenadas conocidas y sobre un área plana. En (Kornus et al. 2003) se dan más detalles sobre la metodología que empleamos para obtener resultados óptimos. La ASPRS está elaborando unas recomendaciones para

la realización de proyectos LIDAR y una primera versión está anunciada para la siguiente reunión en Anchorage (Alaska) en mayo de 2003.

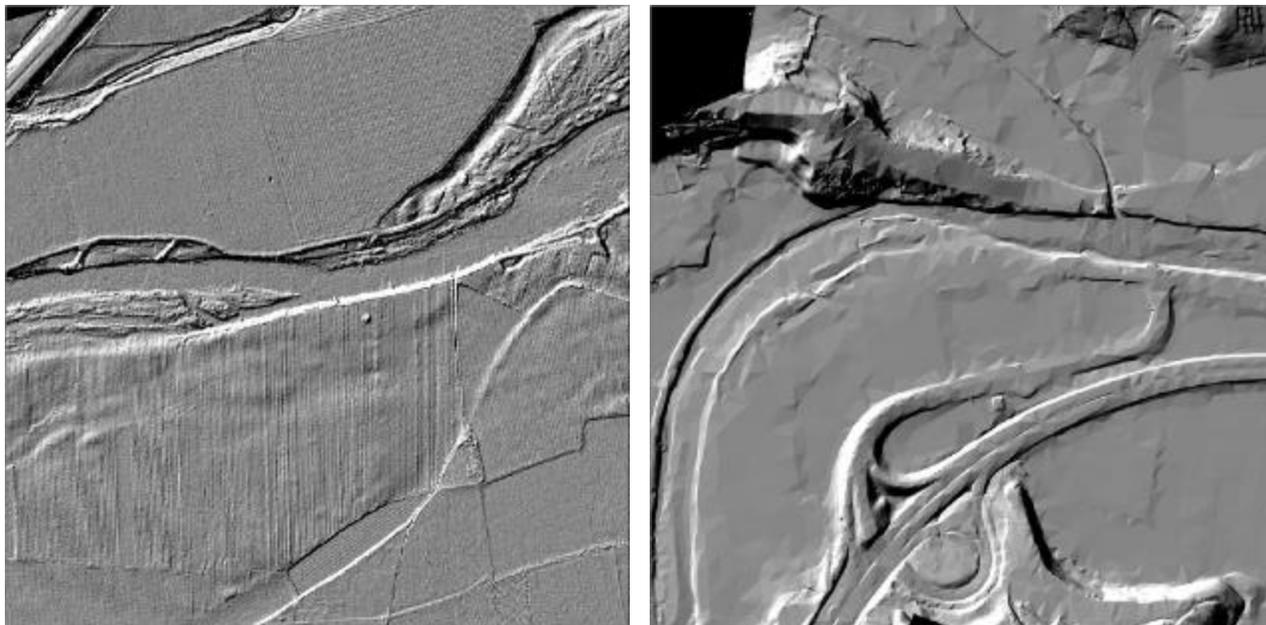
Como ya hemos dicho anteriormente, el resultado de una campaña LIDAR es una colección de puntos con coordenadas conocidas. La cantidad de puntos suele ser enorme y los puntos se obtienen mediante un muestreo aleatorio. A diferencia de lo que sucede en la fotogrametría restituída por un operador, se trata de una captura de datos no inteligente. Los puntos estarán situados tanto sobre el terreno como sobre los objetos que se encuentren sobre él: vegetación, edificios, vehículos, etc. En general, para que estos datos sean útiles, será preciso clasificarlos o filtrarlos y construir un modelo a partir de los puntos clasificados. Como el número de puntos es muy grande es necesario disponer de herramientas para realizar una clasificación automática de los datos y a continuación revisar y editar manualmente los resultados obtenidos.

Para clasificar los puntos se puede utilizar su altura, la intensidad reflejada o el carácter de rebote múltiple (en nuestro sistema primer y último eco). Habitualmente sólo se tiene en cuenta la altura de cada punto comparada con la de sus vecinos. Existen diferentes algoritmos para obtener el modelo digital del terreno (MDT), pero todos se basan en la selección los puntos más bajos en un entorno. También se suele considerar la altura absoluta o la altura sobre el terreno una vez que se ha calculado el MDT.

3. Modelos del terreno

En esta aplicación el LIDAR es una técnica madura y compite o complementa a otras técnicas de captura masiva como son la fotogrametría o el radar interferométrico.

Los resultados que podemos obtener en una campaña LIDAR son muy diferentes de los que se obtienen con fotogrametría y debemos tener una idea clara de qué se puede obtener y de qué es lo que necesitamos para poder escoger entre una técnica u otra (figuras 1 y 2).



Figuras 1 y 2. MDT LIDAR de malla 1m (Ter, cerca de Medinyà) y MDT de restitución a escala 1:1000 (La Tordera, cerca de Hostalrich)

La precisión del LIDAR está limitada principalmente por la precisión con la que se puede calcular la trayectoria del sensor con DGPS/INS y por la precisión de las medidas de los ángulos que proporcionan el INS y el sistema de orientación del espejo. Las precisiones que se obtienen varían según la altitud y el ángulo de barrido. Varían entre 15-

30 cm (1 sigma) en altitud y a veces incluso mejores (Kornus et al. 2003) y entre 60-100 cm en planimetría. Con las frecuencias de los sistemas actuales es posible obtener densidades de datos de 1 punto/m² y superiores. Podemos, por tanto, construir MDT con pasos de malla del orden del metro y precisiones decimétricas para muy diversas aplicaciones a un coste razonable. Entre estas podemos citar los estudios de riesgos de inundaciones (Ruiz et al. 2002), cálculos de volúmenes en minas a cielo abierto y vertederos, estudios de desplazamientos de arena en las playas después de tormentas, estudios de erosión, deslizamientos de tierras, etc.

Se han realizado 18224 Ha de MDT con un paso de malla de 1 m para el estudio del riesgo de inundaciones del río Ter. La figura 1 es un ejemplo extraído de este proyecto. En Kornus et al. 2003 se analizan los resultados obtenidos.

En la playa del Bogatell de Barcelona hemos estudiado las diferencias de volumen de arena poco después de unas tormentas que arrastraron mucha arena (figura 3, 17/4/2002) y más tarde cuando la playa ya había sido regenerada (figura 4, 23/7/2002). Los dos vuelos se realizaron a 2300 m d'altitud, con frecuencia de barrido de 42 Hz y 5° de semiángulo. Se seleccionó divergencia de 0.2 mrad. Los MDT generados son de 1 m de paso de malla.

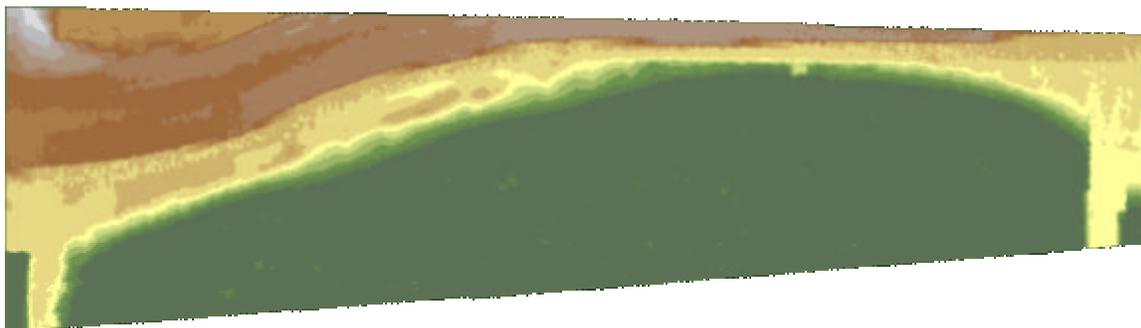


Figura 3. Playa del Bogatell el 17/4/2002.

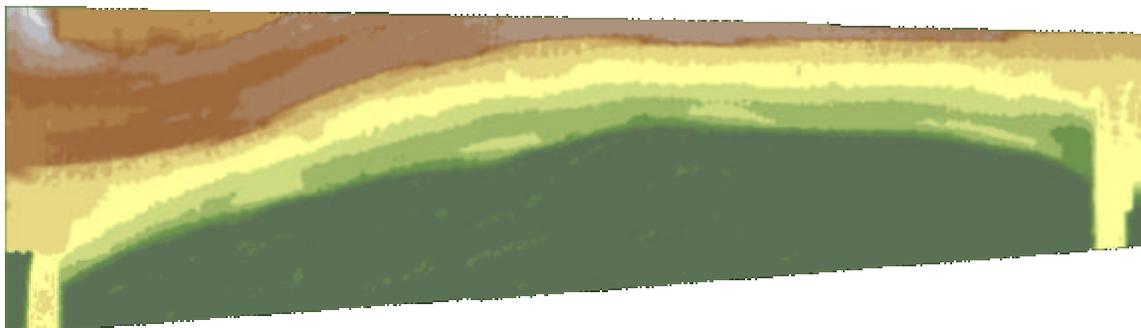


Figura 4. Playa del Bogatell el 23/7/2002.

A partir de estos MDT se ha generado el modelo de diferencias (figura 5) y se han estudiado los volúmenes de arena desplazados y las variaciones en la superficie de la playa (tabla 1 y figura 6). No se han tenido en cuenta los cambios en la arena sumergida porque este sensor no proporciona información batimétrica. La línea que aparece en la parte superior del modelo de diferencias corresponde a la balaustrada del paseo marítimo. Es un artefacto debido a que la resolución en planimetría es del orden de 1 m.

Tabla 1. Diferencias en volumen de arena desplazada y superficie de playa.

Diferencia de volumen positiva	23884 m ³	Aportación de la regeneración realizada
Diferencia de volumen negativa	4320 m ³	Volumen reutilizado en otro lugar
Diferencia de superficie positiva	12082 m ²	Superficie regenerada
Diferencia de superficie negativa	239 m ²	Pérdida de superficie

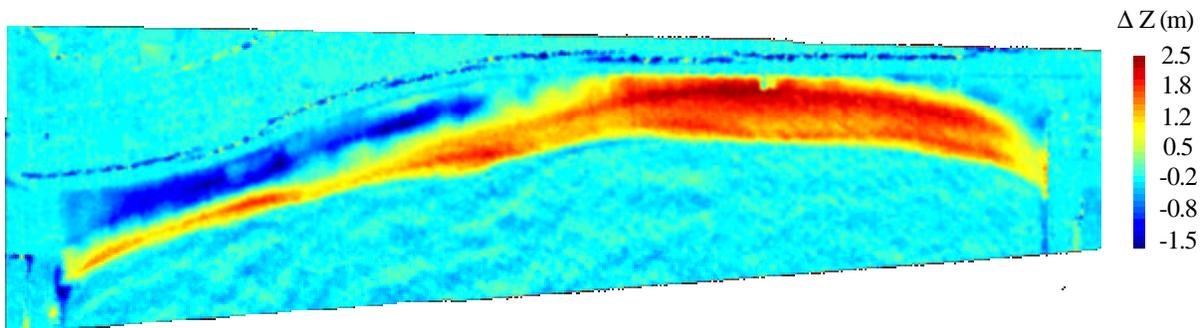


Figura 5. Diferencia de modelos.

En general, en zonas con poco relieve el empleo de LIDAR suele ser preferible a la fotogrametría o siempre que se requiera gran precisión en altitud o gran densidad de puntos medidos. También en las zonas cubiertas de vegetación como veremos a continuación. Los programas de clasificación automática permiten extraer de los puntos medidos aquellos que pertenecen al terreno con gran fiabilidad, aunque debido a la complejidad del terreno y el gran número de puntos capturados siempre encontraremos algunos mal clasificados. Estos errores de clasificación deben ser corregidos manualmente.

Los productos habituales de una campaña LIDAR serán los puntos irregulares clasificados como pertenecientes al terreno o no y el modelo digital del terreno sin vegetación ni edificios.

Normalmente, los MDT procedentes de LIDAR carecen de líneas de quiebre pero esta carencia se ve compensada con una densidad muy alta de puntos masivos. Sobre las superficies de agua el LIDAR proporciona muy pocos puntos debido a la reflexión especular del pulso láser que impide en ocasiones que el eco regrese al sensor. A esta dificultad se une el hecho de que en las márgenes del río la vegetación suele ser muy abundante. En ríos y canales es muy recomendable introducir líneas de quiebre que unan puntos próximos con la misma cota porque de esta manera mejora mucho el modelo del terreno (figura 7).

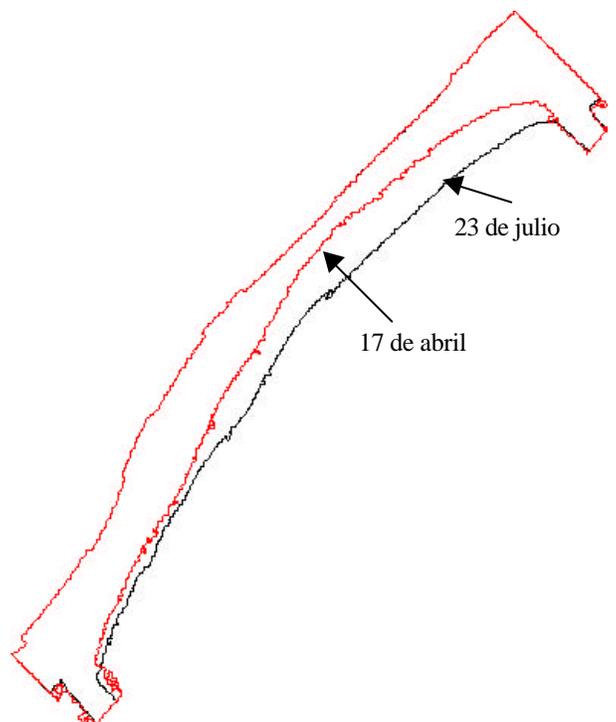


Figura 6. Cambios en la línea de costa.

Sobre los ríos y en los cruces entre vías de comunicación encontraremos numerosos puentes. En el caso de que la observación LIDAR no sea vertical podemos obtener puntos tanto sobre el tablero del puente como bajo éste. Es necesario decidir si el MDT debe mantener las elevaciones por encima de los puentes o si éstos deben ser eliminados en el proceso de edición. En la parte inferior derecha de la figura 7 podemos ver un puente sobre el río que ha sido eliminado.

Por ser un sistema basado en GPS las alturas medidas serán elipsoidales. Debemos disponer de un geoida para poder pasar a alturas ortométricas.

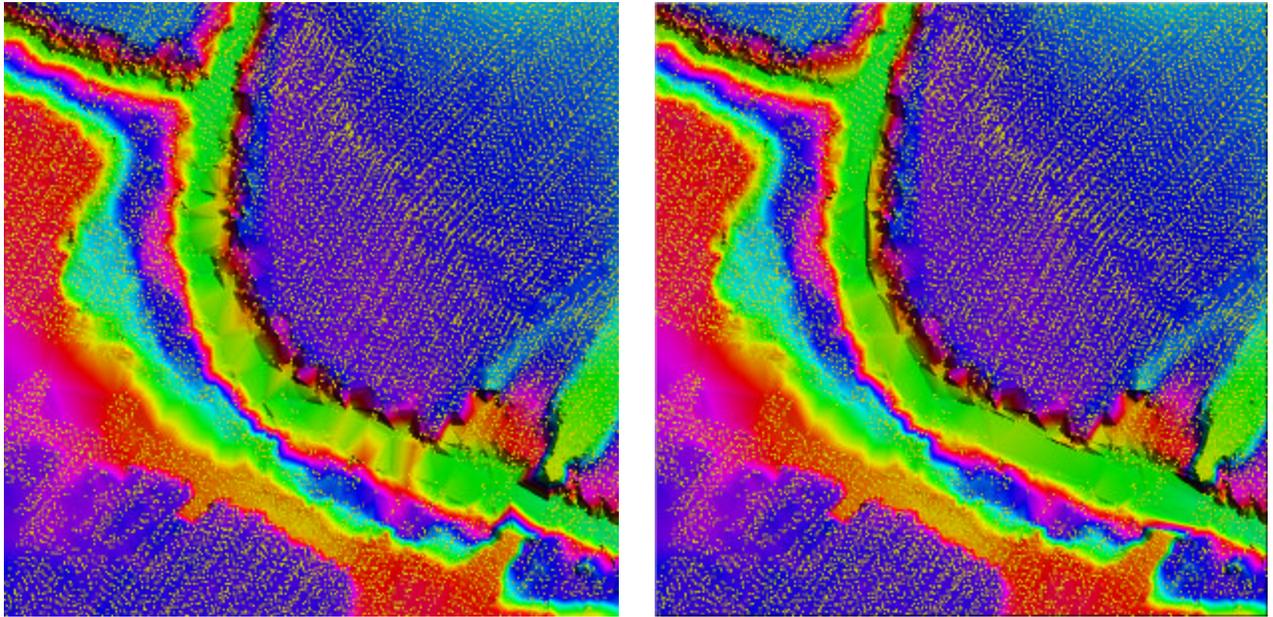


Figura 7. Detalle del río Terri antes y después de la inserción de líneas de quiebre en los márgenes del río.

Las técnicas de proceso de datos para otras aplicaciones están menos desarrolladas pero los avances tanto de los algoritmos académicos como de los programas comerciales son muy rápidos.

4. Aplicaciones forestales

El LIDAR proporciona puntos sobre cualquier objeto situado sobre el terreno, en particular sobre la vegetación. En un bosque, si los espacios entre las hojas son lo suficientemente grandes, algunos pulsos láser alcanzarán el suelo y podremos, con ellos, construir un MDT. Muchos de los puntos rebotarán en la vegetación a diferentes alturas y esto nos abre el camino para nuevas aplicaciones. El LIDAR es la única técnica de teledetección capaz de detectar simultáneamente el terreno y la vegetación. Es sencillo obtener un modelo de altura de la vegetación, calcular la altura predominante de una zona o detectar los árboles más altos. Se define el coeficiente de penetración como el cociente entre los puntos que alcanzan el suelo y los puntos totales. Este parámetro está muy relacionado con la fracción de cubierta (porcentaje del terreno cubierto por la proyección vertical de la vegetación). Con altas densidades de

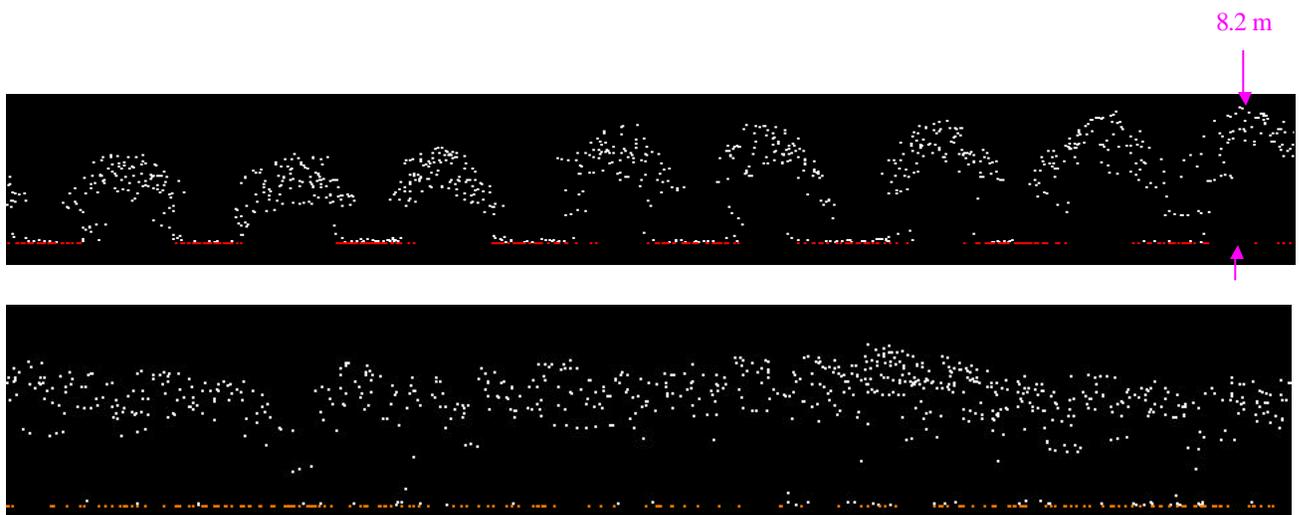


Figura 8. Plataneras en Vila-Roja.

puntos (alrededor de 10 puntos/m²) se pueden detectar de manera automática los árboles individuales y calcular los tamaños de las copas (Hyypä 1999). En bosques con una única especie arbórea se puede estimar el volumen de madera y el diámetro del tronco. Como tenemos rebotes a diferentes alturas cabe la posibilidad de estudiar la estratificación vertical de la vegetación y la biomasa.

Vemos en la figura 8 dos perfiles perpendiculares de una misma plantación de plataneras. La densidad es de 1,96 puntos/m². En una dirección los árboles individuales son perfectamente identificables mientras que en la dirección perpendicular esta identificación no es posible porque las ramas están entrelazadas.

5. Modelos de ciudades

En la actualidad se está avanzando mucho y muy rápidamente en la detección automática de edificios pero los programas disponibles necesitan todavía mucha ayuda por parte de un operador y la obtención de modelos vectoriales de ciudades es todavía muy costosa (Soininen, 2002). Estos modelos son necesarios para la generación de ortofotos estrictas y de modelos de realidad virtual.

Para las aplicaciones en las que no se necesita un modelo vectorial, los datos del LIDAR permiten construir un modelo de superficie aproximado muy rápidamente (figura 9). Es el caso de los estudios de emplazamientos de antenas de telecomunicaciones o para verificaciones catastrales.

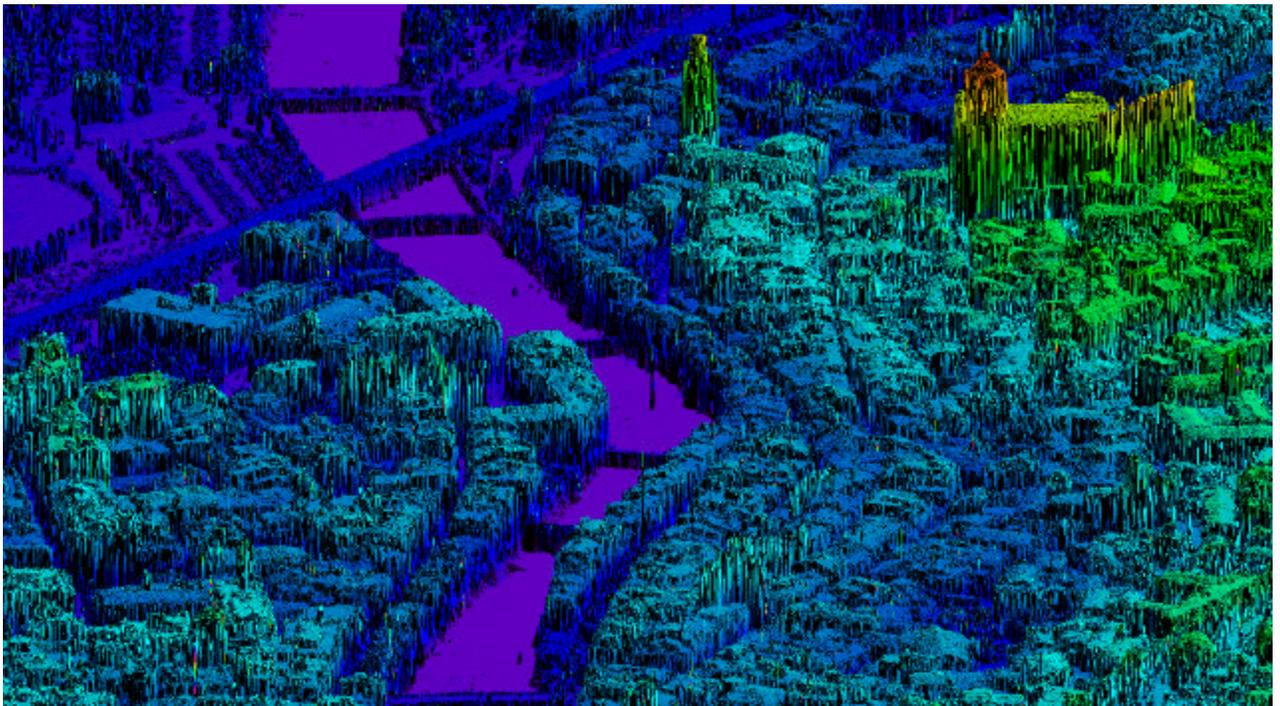


Figura 9. Vista perspectiva del centro de Girona con tintas hipsométricas.

6. Cartografía de líneas eléctricas

El cartografiado de líneas eléctricas es una aplicación en la que no existen otras técnicas que compitan con el LIDAR. Interesa obtener la distancia de los cables al terreno, a la vegetación y a los edificios. Empleando configuraciones específicas del equipo es posible obtener muchos puntos sobre los cables. Se genera un modelo del terreno y a continuación se ajusta un modelo de catenaria para cada cable (figura 10). Los puntos restantes pertenecerán a la vegetación o a los edificios y podemos calcular su distancia a los cables. Los puntos demasiado próximos se consideran

peligrosos y podemos generar un listado de puntos peligrosos con sus distancias a los cables y un mapa con las distancias mínimas de los cables a la vegetación y al suelo.

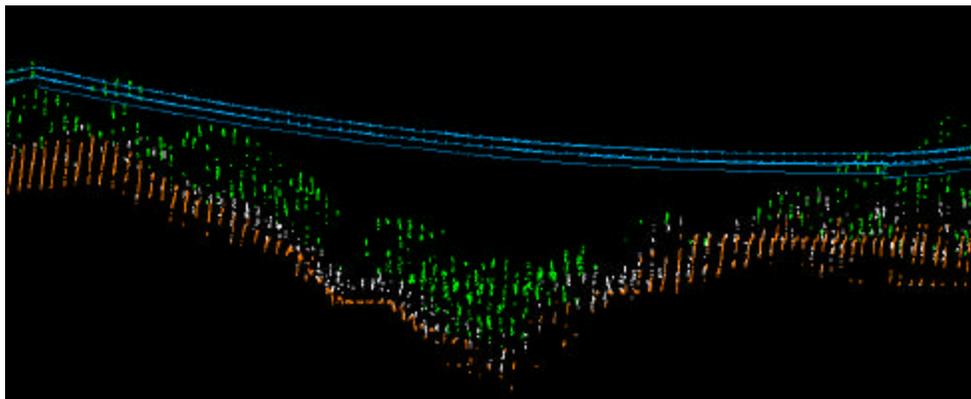


Figura 10. Línea de media tensión entre Olesa de Montserrat y Collbató.

7. Agradecimientos

Queremos agradecer la colaboración de nuestros compañeros, entre ellos a A. Barón, J. Talaya, A. Ramos, M. A. Soriano, I. Menacho, M. Cabré, M. A. Ortiz, C. Parareda, J. Hernández, J. Martínez, I. Aragonés, J. Martí, J. Oller, S. Segura, J. L. Colomer y muy especialmente al difunto F. Conforto porque sin su esfuerzo este equipo no funcionaría.

8. Referencias

Baltsavias, E. P. 1999, Airborne laser scanning: basic relations and formulas. ISPRS J. Photogramm. Rem. Sens 1999; 54: 199-214.

Hyypä, J., Inkinen, M. 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. Photogrammetric Journal of Finland 1999; 16(2):27-42.

Kornus, W., Ruiz, A, 2003. Strip Adjustment of LIDAR Data. V Semana Geomática. Barcelona.

Maune, D. F, (ed.) 2001. Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual. ASPRS.

Ruiz, A., González, X., Herms, I., Bastianelli, L., 2002: “*Flood Risk Mapping Based on Airborne Laser Scanner Data: Case of the Llobregat River*”, Proceedings of the Int. Conference on Flood Estimation, 68 March 2002, Bern, Switzerland

Soininen, A., 2002. Terrasolid users meeting. Frankfurt. URL:
<http://www.terrasolid.fi/ENG/Presentations/buildings.pdf>