

# Procesado y distribución de nubes de puntos en el proyecto PNOA-LiDAR

Sara Lorite Martínez<sup>(1)</sup>, Juan Carlos Ojeda Manrique<sup>(1)</sup>, Borja Rodríguez-Cuenca<sup>(1)</sup>, Eduardo González Cristobal<sup>(1)</sup>, Pedro Muñoz<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Geográfico Nacional, Calle del General Ibáñez de Ibero, 3, 28003, Madrid

**Resumen:** El proyecto PNOA-LiDAR comienza en el año 2008 con el objetivo de cubrir cada 6 años todo el territorio de España mediante nubes de puntos con coordenadas tridimensionales obtenidas mediante sensores LiDAR aerotransportados, con una densidad de 0,5 puntos/m<sup>2</sup>. La precisión altimétrica obtenida es mejor de 20 cm RMSE Z. La primera cobertura se finalizó en el año 2015 y en la actualidad se está realizando la toma de datos de la segunda, con cambios importantes tales como la adquisición de imágenes simultáneas de cuatro bandas y aumento de densidad en algunas zonas.

En este documento se detalla el flujo de trabajo que se sigue en el IGN desde la captura de los datos por los sensores aerotransportados a la distribución final para todos los usuarios a través del centro de descargas del CNIG. Este proceso consta fundamentalmente de dos etapas: en primer lugar se realiza el control de calidad geométrico de la nube de puntos y del vuelo para garantizar que los datos se ajustan a las especificaciones de producto. Tras esto, se llevan a cabo una serie de procesos que facilitan la visualización e interpretación de las nubes de puntos. Además, se generan productos derivados tales como Modelos Digitales del Terreno. Finalmente los datos se distribuyen en formato LAZ (formato de compresión de ficheros LAS) a través del Centro de Descargas del CNIG en ficheros de 2x2km de extensión.

**Palabras clave:** PNOA, LiDAR, control de calidad, automatización de procesos, datos abiertos, las.

## Processing and distribution of point clouds in the PNOA-LiDAR project

**Abstract:** The PNOA-LiDAR project began in 2008 with the aim of covering the entire Spanish territory every 6 years with 3D point clouds. These point clouds are obtained by means of an airborne LiDAR sensor with a density of 0.5 points / m<sup>2</sup>. The altimetric accuracy obtained is better than 20 cm RMSE Z. The first coverage was finalized in 2015 and the data collection of the second is currently being carried out.

This work details the workflow that is followed in the IGN from the capture of the data by the airborne sensors to the final distribution for all users through the CNIG download website. This process essentially consists of two stages. In a first step, the geometric quality control of the point cloud and flight is performed to ensure that dataset conform the product specifications. After that, in a second stage, a series of processes are performed to facilitate the visualization and interpretation of point clouds. Furthermore, derivative products are obtained, such as Digital Terrain Models. Finally, the data is distributed in LAZ format (compressed format of LAS files) through the CNIG download website in 2x2km files.

**Keywords:** PNOA, LiDAR, quality control, automation processes, open data.

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto PNOA-LiDAR, se encuentra enmarcado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT), teniendo por objeto la captura periódica de una cobertura de nubes de puntos LiDAR cada seis años y Modelos Digitales del Terreno (MDT) derivados a partir de la cobertura LiDAR.

Los detalles del proyecto como pueden ser coberturas por años de LiDAR, productos derivados y sus precisiones o las especificaciones técnicas pueden ser consultados en la página web del proyecto PNOA (<http://pnoa.ign.es/>).

Los principales impulsores de proyecto PNOA-LiDAR junto con el Instituto Geográfico Nacional (IGN) han sido el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (por medio de la Dirección General del Agua, las Confederaciones Hidrográficas y el FEGA) y el Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas (por medio de la Dirección General del Catastro), además de las Comunidades Autónomas, lo que ha permitido la obtención de información altimétrica de alta precisión.

Tabla 1. Resumen de especificaciones técnicas PNOA

	GSD Vuelo (cm)	GSD Ortofoto (cm)	Precisión planimétrica de la ortofoto	Precisión altimétrica del Modelo Digital del Terreno	Paso de malla
PNOA 50 cm	45	50	RMSE <sub>XY</sub> ≤ 1,00 m	RMSE <sub>Z</sub> ≤ 2,00 m	5mx5m
PNOA 25 cm	22	25	RMSE <sub>XY</sub> ≤ 0,50 m	RMSE <sub>XY</sub> ≤ 1,00 m	5mx5m

	Densidad Nominal (p/m <sup>2</sup> )	Distancia nominal entre puntos (m)	Precisión altimétrica de la nube de puntos	Precisión altimétrica del Modelo Digital del Terreno	Paso de malla
PNOA-LiDAR	0,5	1,4	RMSE <sub>Z</sub> ≤ 0,20 m	RMSE <sub>Z</sub> ≤ 0,50 m	5mx5m

La obtención de una cobertura LiDAR de todo el territorio de un país es un hecho relativamente novedoso, ya que únicamente países pequeños disponen de ella. Ejemplos significativos son los de Holanda, Suiza, Finlandia, Polonia, Suecia, Eslovenia y Dinamarca.

Con la introducción del LiDAR en el proyecto PNOA se ha conseguido reducir significativamente los costes, habiendo finalizado la primera cobertura en 2015 (Figura 1), fecha en la que se inició la captura de la segunda cobertura.



**Figura 1.** Mapa de fechas de captura de la primera cobertura LiDAR del proyecto PNOA-LiDAR

## 2. FLUJO DE TRABAJO EN EL PROYECTO PNOA-LiDAR

En la ejecución del proyecto PNOA-LiDAR se distinguen 4 fases consecutivas:

1. Planificación
2. Captura de la información
3. Control de calidad
4. Procesado de los datos LiDAR del vuelo

### 2.1. Planificación

En la fase de planificación, como paso previo a la ejecución del vuelo, las empresas licitadoras entregan una planificación de vuelo en un fichero en formato mdb, con datos como inicio y final de pasada, altura de vuelo, frecuencia de escaneado, frecuencia de pulso o el tipo de sensor. Adicionalmente entrega otra base de datos en la que indican las estaciones de referencia GNSS que van a utilizar durante la captura de la información, pudiendo utilizarse las implantadas por el IGN, las de las Comunidades Autónomas, las de las empresas privadas o en su defecto la empresa que fuera a realizar el trabajo tendría que establecer las necesarias para garantizar el cumplimiento de las precisiones exigidas en las especificaciones técnicas.

### 2.2. Captura de datos LiDAR

Para realizar la primera cobertura, el territorio se ha dividido en bloques de una superficie similar a los del vuelo fotogramétrico. La extensión varía entre los 20.000 km<sup>2</sup> en la gran mayoría de las zonas, a los 8.000 km<sup>2</sup> en zonas de orografía compleja.

En la gran mayoría de los casos solamente se ha capturado la información del sensor LiDAR, no obstante, en los vuelos del año 2009 algunas zonas fueron voladas mediante lo que se denomina vuelo combinado, permitiendo obtener simultáneamente la captura de la imagen y la información altimétrica. A partir de 2015 se generaliza nuevamente la captura simultánea con imagen

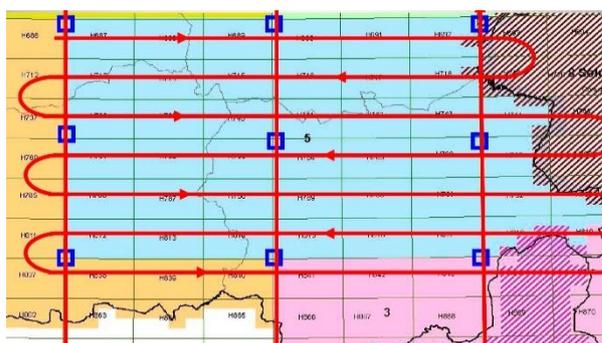
cuatro bandas (RGB e infrarrojo cercano), con cámaras de medio formato.

Los sensores utilizados en la captura de información LiDAR en el proyecto PNOA han sido de última generación, teniendo que cumplir una serie de requerimientos como son una frecuencia mínima de escaneado de 70 Hz, debiendo alcanzar un mínimo de 40 Hz con un FOV (field of view). La frecuencia mínima de pulso debe ser de 45 kHz, asumiendo un FOV de 50° y un alcance máximo de 3000 metros. Los principales sensores utilizados en el proyecto han sido los Leica ALS en sus modelos 50, 60, 70 y 80 y el Riegel 680 QH.

Respecto a la mínima densidad de puntos exigida, ésta debe ser de 0,5 puntos por metro cuadrado del primer retorno (aproximadamente una distancia de 1,41 m entre puntos), sin considerar los puntos que se encuentran en las zonas de solape entre pasadas contiguas, ni las zonas de agua. No obstante, en la segunda cobertura se está aumentando la densidad de la nube de puntos a 1 y 2 pulsos/m<sup>2</sup> en algunas zonas.

La dirección de las pasadas normalmente es Este-Oeste, salvo en zonas con gran relieve en las que se podrá variar la orientación para mejorar la adquisición de los puntos, siendo el recubrimiento transversal entre pasadas mayor de un 15%. La longitud máxima de las pasadas será de 4 hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1/50.000 (MTN50), para evitar la acumulación de errores excesivos en la deriva del sensor inercial.

Adicionalmente, se realizarán pasadas transversales a las anteriores, cuya longitud no excederá de 3 hojas del MTN50. Estas pasadas se realizan sobre zonas de control, en las que se habrán levantado una serie de puntos mediante GNSS, permitiendo ajustar estas pasadas al terreno. Sobre estas pasadas se apoyarán las pasadas longitudinales, evitando la aparición de errores sistemáticos en altitud. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de la distribución de pasadas longitudinales y transversales en uno de los vuelos de la primera cobertura.



**Figura 2.** Distribución de pasadas longitudinales y transversales así como de las áreas de control.

La altura de vuelo quedará fijada en función de la velocidad del avión, características técnicas del sensor utilizado y la densidad que se pretende obtener.

En cuanto a la precisión altimétrica, el error medio cuadrático será inferior a 0,20 m, siendo menor de 0,40 m en el 95% de los casos, no permitiéndose errores

superiores a 60 cm. En las zonas de solape entre pasadas la discrepancia máxima será menor de 40 cm.

Para la captura de información GNSS se está utilizando la red de estaciones permanentes del IGN y otras de algunas Comunidades Autónomas, de tal manera que el error medio cuadrático en el procesado de las trayectorias de vuelo sea menor de 10 cm.

Con toda la información capturada se obtendrán las coordenadas de la nube de puntos referidas al sistema de referencia ETRS89 en la Península, Baleares, Ceuta y Melilla, y al REGCAN95 en el archipiélago Canario, tal y como establece el Real Decreto 1071/2007. La proyección utilizada es la UTM en el huso correspondiente a cada zona.

El producto final entregado por las empresas de vuelo son ficheros en formato las versión 1.2 formato 3, con altitudes elipsoidales, sin clasificar, Cada fichero abarca un ámbito correspondiente a un cuadrado UTM de 2x2 km, siendo la esquina superior izquierda un valor entero par.

### 2.3. Control de calidad

En todos los productos generados en el marco del PNOT se establecen unos procesos para garantizar la calidad de los datos generados, y asegurar que cumplen las especificaciones técnicas en cada una de las fases de las que consta el proyecto.

Una vez que el vuelo se adjudica a una empresa, ésta entrega una planificación previa del vuelo y los certificados de calibración del sensor para comprobar que no tienen una antigüedad mayor de un año. En la planificación de vuelo, junto con un MDT de referencia se comprueba que se cumplen los parámetros de densidad de puntos, recubrimientos transversales, área cubierta, distancia a las estaciones de referencia, y el paso del avión lo más centrado posible sobre los campos de control al realizar las pasadas transversales.

Una vez finalizado el vuelo y entregada toda la documentación indicada en el pliego de condiciones técnicas, se realiza un análisis de la documentación entregada, el área cubierta, la densidad, los recubrimientos transversales, las distancias a las estaciones de referencia y las precisiones altimétricas.

El chequeo de la precisión altimétrica de los puntos consiste en comparar la altura de la nube de puntos LiDAR con los campos de control que se han proporcionado a las empresas para realizar el ajuste de las pasadas longitudinales al terreno. Adicionalmente a la toma de datos de los puntos de los campos de control, se levantan una serie de puntos a lo largo de trayectos, que se utilizan como control altimétrico adicional de uso interno, permitiendo comprobar la precisión altimétrica la nube de puntos LiDAR.

Los resultados obtenidos en los controles de calidad demuestran que en muchos casos las precisiones altimétricas obtenidas son mejores que los establecidos en el pliego de prescripciones técnicas, estando en algunos bloques de vuelo por debajo de los 15 cm.

### 2.4. Procesado de datos LiDAR

Una vez que los datos capturados han pasado el control de calidad se comienza con el procesado de la nube de puntos.

En primer lugar, se realiza una transformación del Datum altimétrico (ecuación 1) convirtiendo las alturas elipsoidales (h), con las que se reciben las coordenadas de los puntos procedentes del vuelo, a alturas ortométricas (H).

$$H = h - N \quad (1)$$

Para ello, es necesario disponer de valores de ondulación del geoide en la zona en cuestión (N). En el caso del proyecto PNOA-LiDAR se utiliza el Modelo de Geoide “EGM08-REDNAP” (Sobрино, et al., s.f.), publicado por el área de geodesia del IGN.

A continuación, se asigna color a la nube de puntos a partir de ortofotografías procedentes del proyecto PNOA-Imagen o del propio vuelo realizado para la obtención del LiDAR, en el caso de que este vuelo incluyera cámara fotográfica. Para darle color a la nube de puntos se realiza un proceso que consiste en asignar a cada punto de la misma el valor RGB interpolado del conjunto de píxeles de la ortofotografía correspondiente a esa zona que se encuentran en la misma posición en el terreno.

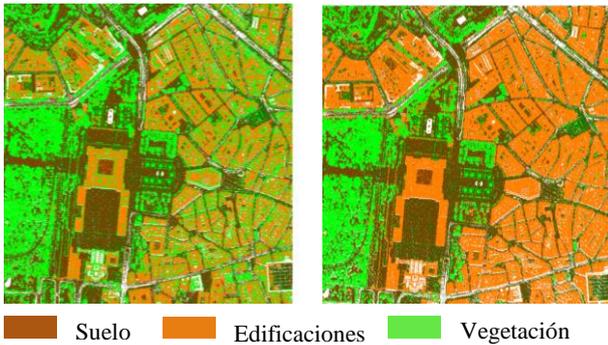
Aparte de dar color RGB, que es con el que se distribuye la nube de puntos, internamente también se le asigna falso color (IR-R-B) a los puntos, añadiéndole el valor de Infrarrojo para poder realizar un procesamiento posterior utilizando dicho valor.

En la siguiente fase se realiza una clasificación automática con software comercial, aplicando unos parámetros generales, permitiendo etiquetar los puntos que forman la nube en diferentes categorías:

Clase 1: Puntos no clasificados	Clase 5: Vegetación alta
Clase 2: Suelo	Clase 6: Edificación
Clase 3: Vegetación baja	Clase 7: Ruido
Clase 4: Vegetación media	Clase 12: Solape

Uno de los problemas que presenta la realización de una clasificación automática es que genera errores, que posteriormente han de ser corregidos manualmente, con el consiguiente aumento en tiempo y coste. Para mejorar esta clasificación automática, se comprobó que en zonas urbanas existían puntos en edificaciones donde la clasificación automática no era correcta, detectándose puntos de los tejados que estaban clasificados como vegetación alta.

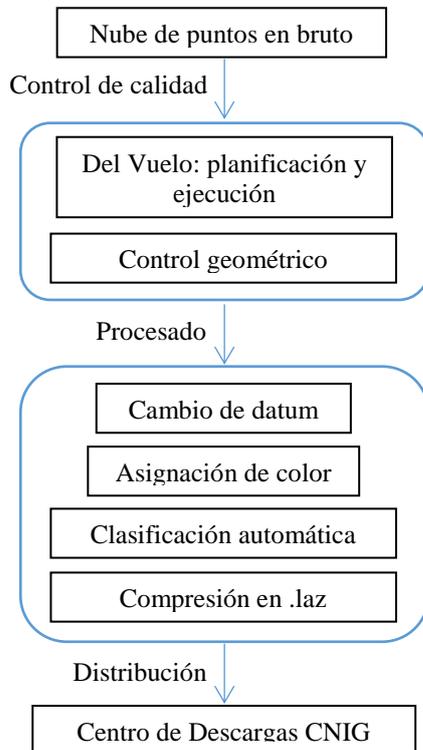
Para solucionar este problema se ha desarrollado un algoritmo que, con el uso de la nube de puntos en falso color, calcula el índice de vegetación (NDVI) de cada punto situado en zonas urbanas y, previo establecimiento de un umbral, se determinan los puntos clasificados como vegetación alta que según su NDVI no pertenecen realmente a esa clase, reclasificándolos como edificación (Figura 3).



**Figura 3.** Ejemplo de nube clasificada automáticamente (izquierda) y reclasificada con valores de NDVI (derecha).

Para finalizar, y como paso previo a la publicación de los datos en el Centro de Descargas del CNIG, se realiza una compresión de los ficheros procesados LAS a formato LAZ.

En resumen, el procedimiento completo a seguir en el tratamiento de datos LiDAR es el siguiente:



**Figura 4.** Flujo de trabajo en el proyecto PNOA-LiDAR

### 3. OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DERIVADOS

Además de la planificación y el procesamiento de las nubes de puntos LiDAR, dentro del proyecto PNOA-LiDAR también se generan ciertos productos derivados como MDT o MDS, Modelos hidrológicos, etc.

#### 3.1. Generación de un MDT

Los datos de partida para la generación de los MDT son los ficheros de nubes de puntos LiDAR clasificados y editados.

La unidad de trabajo para la generación de MDT es la hoja del Mapa Topográfico Nacional a escala 1/25.000 (MTN25). Los pasos a seguir serán los siguientes:

- Determinar los ficheros LiDAR de 2x2 km que se encuentran dentro del ámbito de trabajo, teniendo en cuenta que debe haber un rebase, para que no se produzcan artefactos en los extremos del fichero, debido a la interpolación de los datos.
- Generación de los MDT con paso de malla de 5 metros, por mosaicos de hojas del MTN25 con rebase a partir de la clase terreno (clase 2) de la nube de puntos LiDAR
- Recorte de los ficheros por la cuadrícula del MTN25
- Edición de los MDTs eliminando posibles artefactos, editando las masas de agua en los embalses y homogeneizando las coberturas de diferentes años y de bloques limítrofes
- Control de calidad

Una vez generado el MDT con paso de malla de 5 metros, y una vez controlada su calidad, se generan los productos derivados con son el MDT25 y MDT200.

**Tabla 2.** Productos MDT disponibles en el Centro de descargas del CNIG.

NOMBRE	PASO DE MALLA	PROCEDENCIA	DISTRIBUCIÓN
MDT05	5	Datos LiDAR	Hoja MTN25
MDT25	25	Interpolado de MDT05	Hoja MTN25
MDT200	200	Interpolado de MDT25	Entorno provincial

### 4. DISTRIBUCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Desde la orden ministerial FOM2807/2015 de 26 de diciembre de 2015, la información geográfica producida por el IGN se distribuye de forma gratuita para su libre utilización por parte de cualquier usuario. En cumplimiento de esta orden, todos los archivos LAS, así como los modelos digitales derivados de ellos, están disponibles para los usuarios en el Centro de Descargas del CNIG.

### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Kraus K., Pfeifer N., 2001: *Advanced DTM Generation from LiDAR DATA*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV-3/ W4, Annapolis, MD, 22-24 Oct.
- Błaszczak W., Janowski A., 2009: *Proposed Technology of LiDAR data processing to build DTM*. Reports on Geodesy No. (2) 87.
- Sobrino, J. A. S., Mourón, A. D., & Fernández, A. B., 2009. *El nuevo modelo de Geoide para España EGM08-REDNAP*. Topografía y cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, 26(155), 4-16.