

## PNOA-LiDAR en el ámbito de la seguridad aérea: Directrices Técnicas para los Datos Electrónicos sobre el Terreno y Obstáculos en Aviación Civil (eTOD)

# Modelos de precisión

La navegación aérea requiere de sistemas de ayuda de gran precisión cuya eficacia depende, en última instancia, de una información rigurosa y fiable del terreno y de cualquier posible obstáculo en la trayectoria de las aeronaves. A fin de obtenerla y mantenerla al día, tanto la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) como la Unión Europea dentro de la iniciativa para el Cielo Único Europeo (SES) están trabajando en diferentes propuestas y desarrollos normativos. El proyecto PNOA-LiDAR, desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional, adscrito al Ministerio de Fomento, ha hecho posible la obtención de datos electrónicos del terreno y obstáculos que satisfacen con creces los requisitos de seguridad establecidos, lo que ha convertido a nuestro país en uno de los primeros en disponer de ellos.

### Introducción

La información precisa sobre el terreno y sus obstáculos constituye un elemento de vital importancia para la seguridad en vuelo, especialmente en la fase de aproximación en la que las aeronaves deben poder disminuir su altitud manteniendo intactos los niveles de seguridad. Por ello, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) introdujo los Estándares y Prácticas Recomendadas relacionados con la generación de obstáculos para la aviación civil internacional. La complejidad de estos estándares ha hecho que los estados miembros de

la Unión Europea se enfrenten a un gran reto para cumplir sus requisitos.

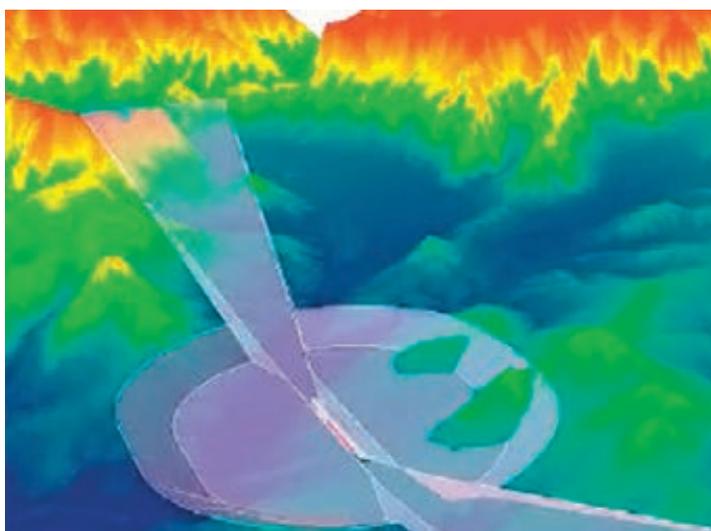
Se trata de un enorme desafío que comprende tanto aspectos técnicos como de coordinación institucional y de implementación. A fin de superarlo, la Unión Europea con el apoyo técnico de la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea (Eurocontrol) creó un grupo de trabajo específico, con diferentes expertos especializados, el *Electronic Terrain and Obstacle Data Working Group (eTOD WG)* que, tras analizar los principales retos, comenzó a elaborar una metodología de trabajo.

En el caso de España, la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) creó el “Grupo de trabajo eTOD”, que contribuyó en la redacción de las “Directrices Técnicas para los Datos Electrónicos y Obstáculos en Aviación Civil (Directrices eTOD)”. Este grupo cuenta con la participación de diversos organismos del Ministerio de Fomento, entre ellos la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN) como organismo con competencias en la producción, actualización y explotación de Modelos Digitales del Terreno. Estas directrices establecen el marco general para que el Estado disponga de unos datos electrónicos sobre el terreno y obstáculos, alineándose con las políticas y directrices emanadas de los principales organismos del sector de la aviación civil.

El objetivo último de las Directrices Técnicas eTOD es proveer de datos electrónicos sobre el terreno y obstáculos acordes a los estándares internacionales, con la calidad requerida, fiables y actualizados que contribuyan a la seguridad, regularidad y eficiencia de la aviación civil además de apoyar el desarrollo de nuevos conceptos operacionales.

## El proyecto PNOA-LiDAR

El IGN cuenta con un Plan para la monitorización de nuestro territorio, conocido como Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT). Este plan se estructura en otros planes, entre ellos el Plan Nacional de Teledetección (PNT) y el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) que tienen por objetivo obtener imágenes y/o Modelos



► Superficie limitadora de obstáculos aeródromos

Digitales del Terreno mediante satélites o sensores aéreos.

En el año 2009, tras realizar una serie de pruebas piloto y atendiendo a la necesidad por parte de algunos de los socios del proyecto de poder disponer de modelos digitales del terreno con mayor precisión, surge la oportunidad de incorporar la tecnología LiDAR al proyecto PNOA. En este sentido España ha sido uno de los primeros países en abordar una cobertura completa del territorio.

Este logro está siendo posible gracias al esfuerzo coordinado, técnico y humano, de varios organismos públicos, que han aunado recursos para llevar a cabo la cobertura de todo el territorio nacional. La primera cobertura se realizó entre los años 2009 y 2015. La segunda cobertura se inició en el año 2015 y está previsto que los trabajos de captura de datos LiDAR se finalicen en el año 2020.

El proyecto PNOA-LiDAR, como todos los proyectos que se agrupan bajo el paraguas del PNOT, es un proyecto colaborativo y en él han participado el Ministerio de Fomento por medio de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional y el Centro Nacional de Información Geográfica, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, por medio de la Dirección General del Agua, las confederaciones hidrográficas y el Fondo Español de Garantía Agraria, el Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, por medio de la Dirección General del Catastro, así como las Comunidades Autónomas.

## La tecnología LiDAR

El LiDAR (Light Detection and Ranging) es una técnica de teledetección activa basada en un sensor que emite pulsos de luz ininterrumpidamente y capta sus retornos, también denominados ecos o rebotes. El tiempo que tarda en regresar la luz, permite calcular la distancia y, de esa forma, obtener la información tridimensional de los elementos.

Una de las principales características de esta tecnología es que puede penetrar la vegetación. El pulso emitido al llegar a la superficie llega con una “huella”. Todas las superficies reflectantes dentro de la huella del pulso generan una onda de retorno. El número de retornos dependerá del tipo de superficie.



Los sensores LiDAR pueden ir instalados en diferentes tipos de plataformas dependiendo de la aplicación a la que van a ser destinados:

- a) **Satélites:** dedicados a trabajos y estudios a nivel global, análisis de masas forestales globales, evolución de casquetes polares...
- b) **Aerotransportados (Avión):** dedicados a trabajos de grandes superficies hasta nivel nacional.
- c) **Aerotransportados (UAV):** análogo a los sensores instalados en avión, pero para trabajos en pequeñas escalas y locales. Es una plataforma emergente.
- d) **Móviles:** plataformas terrestres de vehículos en movimiento (coches, trenes y hasta barcos). Para trabajos lineales, inventariado de ciudades, líneas ferroviarias...
- e) **Terrestres fijos:** conocido tradicionalmente con láser escáner; los sensores LiDAR son instalados en una plataforma fija tipo trípode. Para modelado tridimensional de edificios, estructuras...
- f) **Móviles:** transportados por el ser humano, como pueden ser las mochilas-LiDAR.

En el caso del proyecto PNOA-LiDAR se utilizan sensores LiDAR aerotransportados. El objetivo de este proyecto es obtener información tridimensional de todo el territorio español generando una nube de puntos con coordenadas (X, Y, Z) con una densidad mayor a 0,5 puntos/m<sup>2</sup> y una precisión altimétrica mejor de 20 cm (RMSE<sub>z</sub>).

Los datos obtenidos a través de sensores LiDAR tienen múltiples aplicaciones, dando solución a problemas de gran complejidad y atendiendo demandas nuevas tanto de los servicios que prestan las Administraciones Públicas, como del sector pri-

vado y las universidades. Los ámbitos que abarcan son tan variados como: forestal, agrícola, hidrografía, catastro, urbanismo, ingeniería, medio ambiente, cartografía...

Los productos básicos que se obtienen a partir del proyecto PNOA-LiDAR son:

- **Nube de puntos:** clasificada y con información radiométrica (RGB y NIR) en el caso de vuelos combinados con fotogrametría.
- **Modelo Digital del Terreno (MDT):** modelización en formato raster de los puntos clasificados como suelo. Cada píxel tendrá un valor de altitud; este se puede obtener con diferentes criterios (altura media, mínima, máxima...).
- **Modelo Digital de Superficie (MDS):** modelización en formato raster de todos los puntos. Cada píxel tendrá un valor de altitud; este valor será por lo general el de la altura máxima.

Las aplicaciones principales de los datos capturados en el proyecto PNOA-LiDAR se describen a continuación:

- a) **Aplicaciones forestales:** Dentro del campo forestal la tecnología LiDAR tiene una gran aceptación gracias a que permite obtener diferentes retornos de la señal emitida, obteniendo de esta manera la información altimétrica tanto de copas de los árboles, del terreno y de vegetación intermedia. Los sensores ópticos no permiten este tipo de uso.
  - a. Modelado de incendios, cartografía de vegetación, Inventario Forestal Nacional, seguimiento de evolución de sistemas forestales...
- b) **Zonas urbanas:** detección de cambios a partir de series multitemporales, detección de edificios no registrados...



► Sensor LiDAR  
aerotransportado

c) **Aplicaciones hidrográficas:** definición de la red hidrográfica de manera automática a partir del MDT, estudio de inundaciones, mapas de peligrosidad de inundación costera y fluvial....

d) **Aplicaciones aeronáuticas:** elaboración de MDTs y detección de obstáculos para aviación.

e) **Arqueología:** La tecnología LiDAR está revolucionando las investigaciones arqueológicas, permitiendo desvelar ruinas ocultas ya sean ruinas escondidas bajo la vegetación (LiDAR penetra la vegetación) y ruinas enterradas (estas ruinas influyen en la formación del terreno y a partir de análisis del MDT se pueden detectar).

f) **Medio Ambiente:** detección de cambio (evolución de dunas, glaciares, líneas de costa...)

g) **Otros:** ingeniería, cartografía, comunicaciones....

Como todo proyecto de ingeniería, el proyecto PNOA-LiDAR se rige por unas especificaciones técnicas en las que se recogen los requisitos que deben de cumplir los datos y productos obtenidos en él. Una de las fases más importantes que se llevan a cabo en este proyecto son los controles de calidad de los datos capturados que garantizan el correcto cumplimiento de los requisitos recogidos en las especificaciones técnicas. Las precisiones altimétricas fijadas para datos proporcionados por el proyecto PNOA-LiDAR (2ª Cobertura) se recogen en las siguientes tablas:

Características técnicas de la nube de puntos LiDAR (2ª cobertura)	
Densidad nube de puntos	0,5 a 4 puntos/
Exactitud altimétrica	$RMSE_z \leq 0,15$ m
Precisión altimétrica	$RMSE_z \leq 0,15$ m
Error máximo altimétrico	$\leq 0,30$ m en el 95% de los casos No podrá haber ningún punto con un error superior a 0,60 m
Precisión planimétrica estimada	0,30 m
Error máximo planimétrico	$\leq 0,60$ m en el 95% de los casos No podrá haber ningún punto con un error superior a 1,20 m

► Características técnicas nube de puntos LiDAR

Características técnicas de los modelos digitales	
Exactitud altimétrica	$RMSE_z \leq 0,25$ m
Precisión planimétrica estimada	0,50 m

► Características técnicas MDT y MDS

La alta calidad proporcionada por los productos obtenidos en el proyecto PNOA-LiDAR ha permitido considerar al Grupo de Trabajo eTOD que la tecnología LiDAR es válida para la elaboración de los productos que permitan cumplir con los requisitos establecidos en las Directrices Técnicas eTOD. Esto ha llevado además a la firma de un convenio entre la Dirección General de Aviación Civil, el Instituto Geográfico Nacional, el Centro Nacional de Información Geográfica, la entidad pública empresarial ENAIRE y la Sociedad Mercantil Estatal AENA, todos ellos pertenecientes al Grupo Fomento, para la coordinación de la captura de datos LiDAR en el territorio español.

En el caso de ENAIRE, estos datos son necesarios ya que la División AIS, en su función de provisión de Servicio de Información Aeronáutica, y siguiendo los requisitos establecidos en el Anexo 15 de la OACI, debe poner a disposición de sus usuarios datos digitales sobre el terreno.

Por su parte AENA, como el principal gestor de aeropuertos de España, desempeña un papel relevante en lo que se refiere a las Áreas eTOD 2, 3 y 4, además de sus funciones en relación al control de obstáculos en el entorno de sus aeropuertos.

## Uso de los datos PNOA-LiDAR en el ámbito de la seguridad aérea

En el ámbito aéreo se definen diferentes áreas de cobertura para los conjuntos de datos electrónicos sobre el terreno y obstáculos:

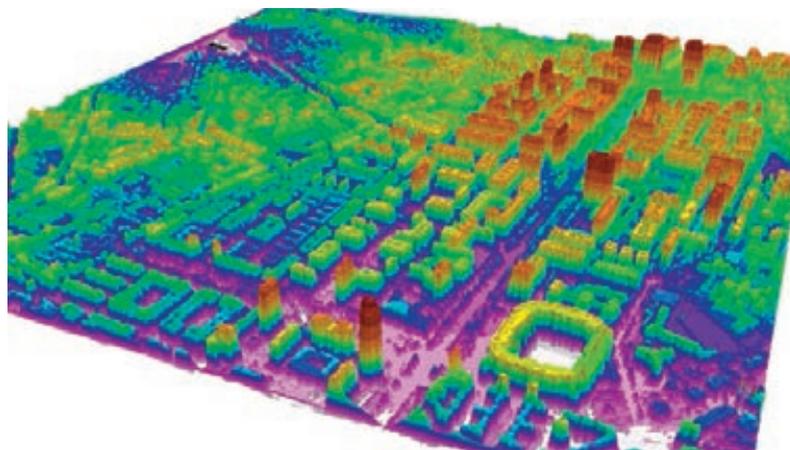
**Área 1:** todo el territorio del Estado.

**Área 2:** área situada en la proximidad del aeródromo.

**Área 3:** área que bordea el área de movimiento de un aeródromo.

**Área 4:** área que se extiende hasta 900 m antes del umbral de pista, y hasta 60 m a cada lado de la prolongación del eje de pista en la dirección de aproximación.

Para cada una de estas áreas se deberán proporcionar datos electrónicos sobre el terreno y obstáculos acorde a las especificaciones establecidas.



► Modelo Digital de Superficie

## Datos electrónicos sobre el terreno

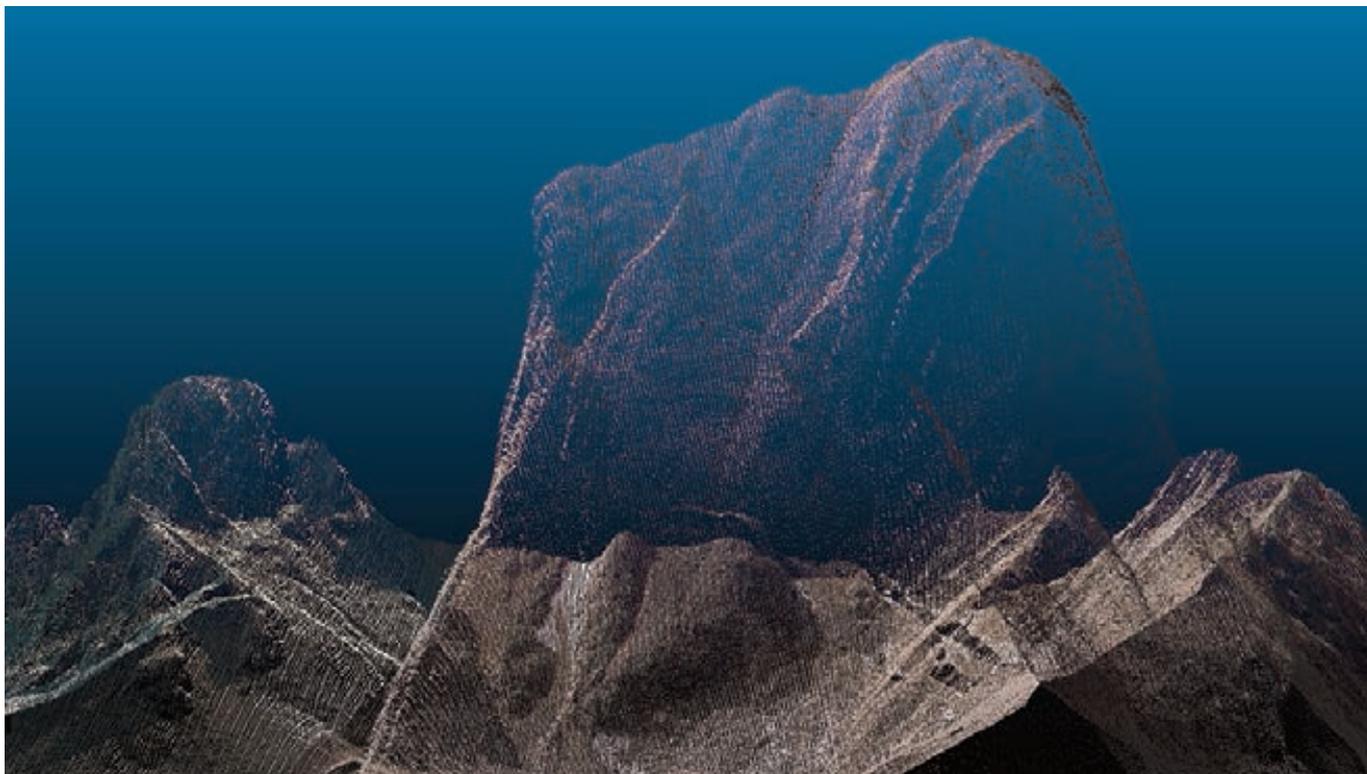
Uno de los principales productos generados dentro del proyecto PNOA LiDAR son los Modelos Digitales del Terreno (MDT) y Modelos Digitales de Superficie (MDS) de gran precisión. Estos productos son básicos para la seguridad aérea y aportan la información sobre el terreno requerida por las Directrices eTOD.

Un MDT es una modelización altimétrica del terreno o suelo desnudo. En esta modelización se eliminan todos los elementos que no son suelo, vegetación, edificios...

Un MDS es una modelización altimétrica del territorio teniendo en cuenta todos los elementos, suelo, vegetación, edificios...

Estos productos deberán cumplir las siguientes especificaciones:

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
<b>Espaciado entre puestos</b>	90m	30m	20m	9m
<b>Exactitud vertical</b>	30m	3m	0,5m	1m
<b>Exactitud horizontal</b>	50m	5m	0,5m	2,5m
<b>Nivel de confianza</b>	90%	90%	90%	90%

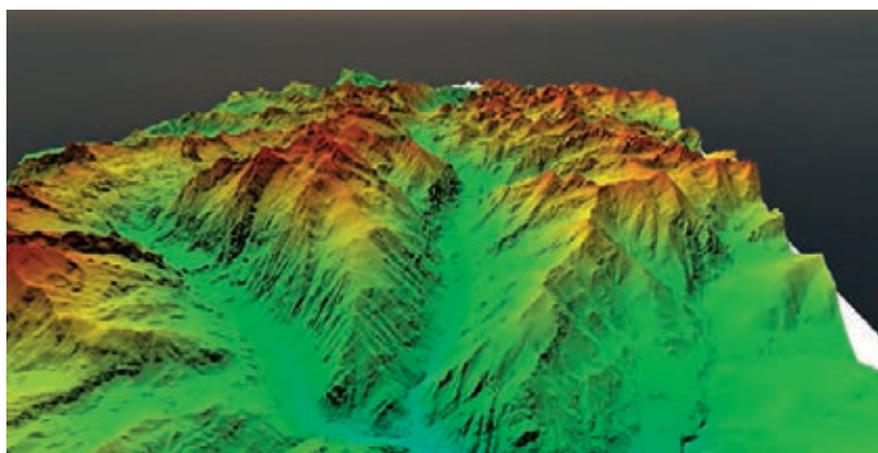


► Nube de puntos  
Naranjo de Bulnes

Comparando estos datos con los recogidos en la tabla 2, puede verse que los MDT y MDS generados en el proyecto PNOA-LiDAR cumplen con los requisitos en todas las aéreas, aunque se recomienda prestar especial atención en el control de calidad y procesado del Área 3 (entorno aeródromos) y es recomendable un pequeño aumento de densidad en los vuelos del Área 3 para asegurar la calidad de los datos.

### Datos electrónicos de obstáculos

Otro de los elementos básicos dentro de la seguridad aérea es la detección de obstáculos. Las Directrices eTOD establecen que para todo el territorio español (Área 1) hay que proporcionar aquellos obstáculos que presenten alturas superiores a 100 metros sobre el terreno. Estos obstáculos en España son principalmente aerogeneradores y edificios.



► Modelo Digital del Terreno

Los datos capturados en PNOA-LiDAR serían de gran aplicación también en este caso, ya que el análisis y la aplicación de determinados algoritmos sobre las nubes de puntos LiDAR capturadas, permitiría automatizar y simplificar la detección y localización de dichos obstáculos como puede verse en las imágenes siguientes.

Además de los obstáculos mencionados, también es necesario proporcionar aquellos obstáculos situados en los entornos de los aeropuertos (áreas 2, 3 y 4) que se hayan evaluado como un peligro para la navegación aérea. Igualmente, el análisis detallado de las nubes de puntos generadas mediante la tecnología LiDAR sería de gran ayuda para la detección y localización de los obstáculos dentro de estas áreas, según los requerimientos establecidos por eTOD.

Los requisitos que tienen que cumplirse sobre los obstáculos se recogen en la siguiente tabla:

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
<b>Exactitud vertical</b>	30m	3m	0,5m	1m
<b>Exactitud horizontal</b>	50m	5m	0,5m	2,5m
<b>Nivel de confianza</b>	90%	90%	90%	90%

Comparando estos requisitos con la información detallada en la tabla 1 se puede comprobar que la nube de puntos capturada en el proyecto PNOA-LiDAR cumple con los requisitos en todas las áreas, aunque se recomienda prestar especial atención en el control de calidad y procesado del Área 3 (entorno aeródromos), siendo aconsejable un pequeño aumento de la densidad en este área.

## Conclusiones

El Instituto Geográfico Nacional es una Dirección General del Ministerio de Fomento dedicada, entre otras muchas actividades, a la monitorización de nuestro territorio mediante el Plan Nacional de Observación del Territorio, empleando para ello las imágenes y datos altimétricos proporcionados por satélites de observación de la Tierra y sensores embarcados en aviones.

Estos datos, que pueden ser utilizados por el resto de Administraciones Públicas y ciudadanos en ge-



► Nube de puntos LiDAR identificando aerogeneradores.



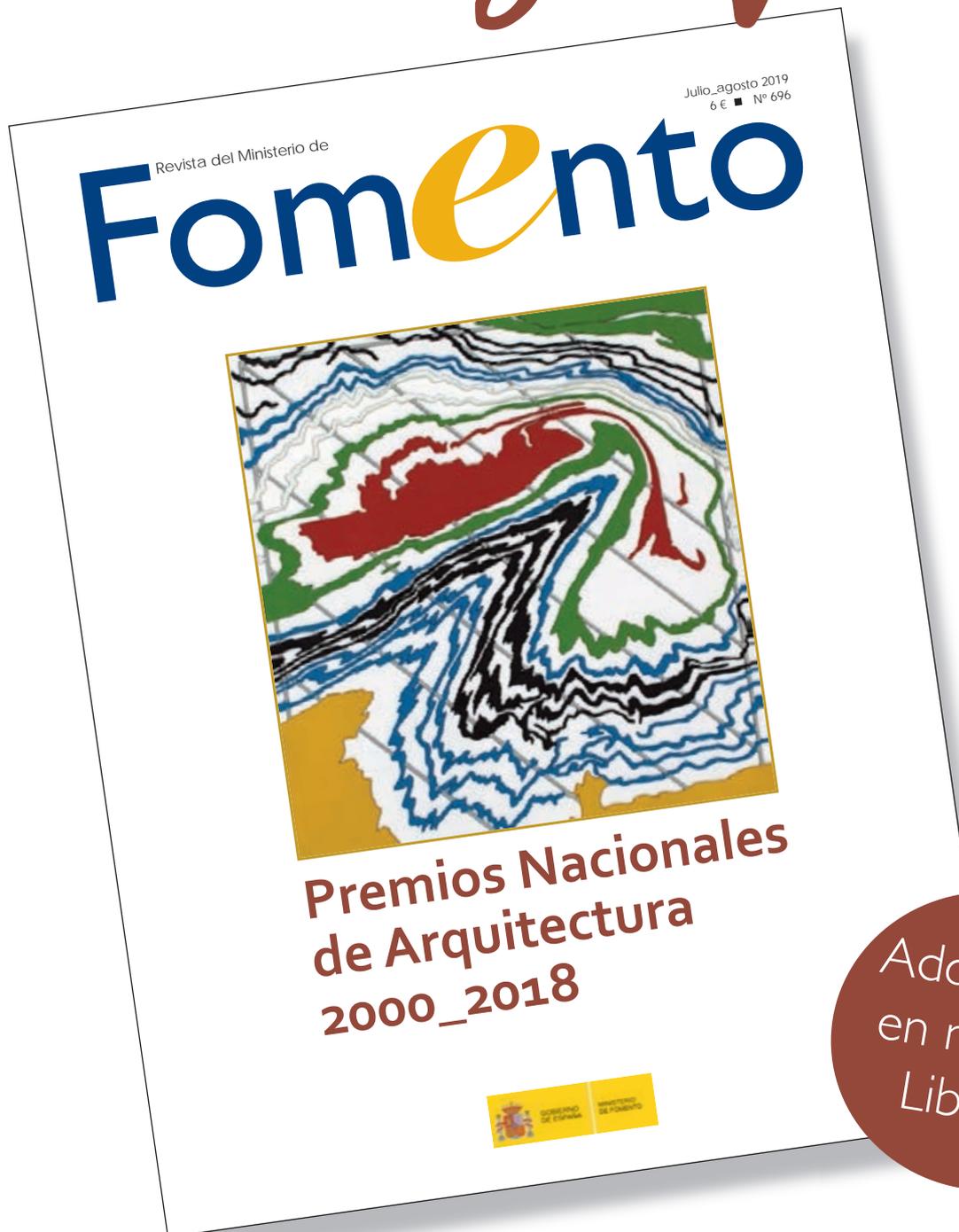
► Puntos sobre las Torres KIO que superan los 100m sobre el terreno detectados de manera automática.

neral, son usados para generar información de nuestro territorio que, en muchos casos, es clave para el desarrollo de políticas municipales, autonómicas o nacionales y también para el cumplimiento de políticas europeas.

La disponibilidad de los datos proporcionados gracias al PNOT abre, además, nuevas vías de aplicación. Es el caso de los datos LiDAR que se ha descrito en los puntos anteriores, ya que son datos que tienen la calidad necesaria para contribuir de forma decisiva a satisfacer las necesidades de información altimétrica en el ámbito de la aviación civil, recogidas en las Directrices Técnicas para los Datos Electrónicos sobre el Terreno y Obstáculos en Aviación Civil (eTOD), permitiendo de esta manera fortalecer la seguridad aérea en nuestro país, cumpliendo además con los Estándares y Prácticas Recomendadas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). En base a esto, ENAIRE va a hacer uso de estos datos para proveer a sus usuarios de datos digitales sobre el terreno.

Jesús María Garrido Sáenz de Tejada <sup>(1)</sup>,  
 Jorge Martínez Luceño <sup>(1)</sup>  
<sup>(1)</sup> Instituto Geográfico Nacional

# Monográfica



Adquiérelolo  
en nuestra  
Librería

Librería del Ministerio de Fomento  
Centro de Publicaciones  
Plaza de San Juan de la Cruz, 10,  
28003 Madrid  
Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00  
<https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web>