



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-258

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

El valor de los datos armonizados y enlazados para una gestión forestal eficaz

ESTRADA, J.¹, SANCHEZ, H.¹, HERNANZ, L.¹, CHECA, M.J.¹ y NAVARRO, M.¹

¹ GRUPO TRAGSA, Conde de Peñalver 84, 28006, Madrid

Resumen

El Plan de Activación Socioeconómica del Sector Forestal (Enero, 2014) tiene por objeto promover la actividad socioeconómica, incrementar el valor, la demanda de productos forestales, la riqueza y calidad de vida del mundo rural. Para ello, se promueve la valorización energética de la biomasa, el asociacionismo y las organizaciones de productores que movilicen los productos forestales. Para todos estos cometidos es imprescindible generar, integrar y enlazar la información y conocimiento forestal para publicarlo de forma sencilla y abierta. La visión, estrategia y objetivos para el sector forestal definidos en el Plan de Acción para una economía verde, aprobado por FAO-UNECE en la reunión conjunta en Rovaniemi (Finlandia) en Diciembre de 2013, propone que la información forestal esté totalmente disponible cuando y donde sea necesario. Por último las Directivas de la UE de Compartición y Publicación de Datos del sector público, así como las tecnologías semánticas y de la Internet del Futuro, pueden aportar enormes ventajas para que todo esto pueda ser una realidad a corto plazo. Esta exposición pretende presentar los resultados actuales y previstos, con referencia a los sectores forestales y de desarrollo rural, de las estrategias de armonización y publicación de datos provenientes de diferentes áreas de conocimiento. En particular y siguiendo las directivas antes expuestas, se tratará de la generación de nuevos productos de valor añadido obtenidos a partir de Big Data LiDAR e información de los satélites Sentinel-2, lo que permite la generación de conjuntos de datos completamente nuevos y con impacto económico cuantificable. Además, se tratará cómo los productos y nuevos datos obtenidos pueden ser usados y reutilizados por terceros, especialmente usuarios y pymes, para la generación de productos secundarios derivados.

Palabras clave

Datos de propiedad, integración de datos, datos abiertos, datos de gran volumen, Big Data, LiDAR, teledetección, explotación por terceros.

1. Introducción

Como paso previo a tratar la generación de valor y gestión forestal, debe desarrollarse primeramente la cuestión de la generación de dicha información. Efectivamente, en gran número de ocasiones, la información se considera un activo preexistente a la actividad técnica o de gestión sin atender al proceso de generación de la misma. En particular, y dentro del ámbito de la ciencia de datos, las bases de datos y la información geográfica se dan por supuestos, centrándose la labor de los técnicos y analistas en su procesado, adaptación y publicación. A continuación, se detallarán dos procesos de generación de información que usan fuentes de datos abiertas y públicas y que permiten la obtención de bases de datos rigurosas y objetivas. En efecto, gran número de parámetros relativos a la actividad forestal quedan definidos de manera manual mediante el trabajo de foto intérpretes que trabajan con información de orto fotos, datos de satélite o imágenes aéreas. Del mismo modo, tampoco se descarta que información sensible y determinante pueda quedar definida por usuarios o propietarios directamente afectados por la definición de dichos parámetros. Por ejemplo, las medidas de asignación de fondos de la Política Agraria Común (PAC) V/B.1.7 - Aumento del valor económico de los bosques o V/B.2.7 - Primera forestación de tierras agrícolas se fundamentan principalmente en la declaración de los propietarios interesados.

Por lo tanto, uno de los posibles usos de la utilización de fuentes de datos externos armonizados será la generación de nueva información exacta, contrastada, repetible y neutral que permita la puesta en valor de conjuntos de datos, posiblemente infrautilizados, para obtener

54 información mejorada, más detallada y objetiva del estado forestal, ambiental y/o agrario de una
55 determinada ubicación. Sin embargo, aun cuando las fuentes de datos usadas existan ya, como se
56 detallará, es necesario el desarrollo de nuevos algoritmos y técnicas de procesado para obtener la
57 información relevante deseada. Las fuentes de datos usadas como ejemplo por el Grupo TRAGSA en
58 una primera aproximación han sido LiDAR y Sentinel-2.

59 Los ficheros, o información LiDAR a tratar, son colecciones de puntos almacenados como N-
60 Tuplas de las cuales, principalmente, interesarán los parámetros x, y, z que representan latitud,
61 longitud y elevación, respectivamente (LEFSKY, 2002). Proporcionados de manera abierta y gratuita
62 por el Instituto Geográfico Nacional, estos datos están disponibles para la gran mayoría del territorio
63 nacional en formato .laz y con una precisión de 0.5 puntos/m² y una precisión vertical de 20 cm.

64 Recientemente, esta elevada sensibilidad ha permitido el desarrollo de múltiples aplicaciones
65 (RICO, 2015) como modelos digitales del terreno (MONTEALEGRE, 2014), modelos digitales de
66 superficie - edificios y clasificación vegetal - (TOMÉ MORÁN, 2013) o la mejora en la definición de
67 áreas de interés ecológico, elementos del paisaje o de admisibilidad en pastos para la PAC, entre
68 muchos otros. Sin embargo, el tratamiento de estas nubes de puntos puede ser complicado para los
69 no especialistas (HUG, 2004). Además, ha sido necesario desarrollar nuevas técnicas de
70 procesamiento de datos con objeto de definir de manera rigurosa determinados parámetros
71 forestales.

72 Por otra parte, en los últimos años, los satélites Landsat han ocupado una posición única en la
73 observación de la tierra, especialmente tras la adopción de una política de datos abiertos y gratuitos
74 (WULDER, 2012) que ha permitido el desarrollo de nuevos productos y servicios. Siguiendo esta
75 misma línea, el lanzamiento del satélite Sentinel-2A - 23 de Junio, 2015 - ha supuesto la aparición de
76 una nueva y poderosa herramienta. Sentinel-2 es una misión integrada en el programa Europeo
77 Copernicus, constituida por dos dispositivos gemelos: Sentinel-2A en activo y Sentinel-2B, lanzado
78 recientemente y aún en fase de ajuste. La combinación de una alta resolución (hasta 10 m por pixel),
79 nuevas capacidades espectrales, amplia cobertura y alta actualización (frecuencia de paso de 5 días)
80 está proporcionando información extremadamente útil en un amplio rango de aplicaciones
81 (MALENOVSKY, 2012). Los datos Sentinel-2 están disponibles en el Sentinel Scientific Data Hub como
82 imágenes Raster - en formato JPEG2000. Estudios recientes han comenzado a examinar el uso de
83 Sentinel-2 para diferentes aplicaciones como mapeo geológico (VAN DER WERFF, 2016),
84 determinación de características de terreno (RADOUX, 2016), mapeo de áreas residenciales
85 (PESARESI, 2016; LEFEBVRE, 2016), monitorización de glaciares y cuerpos de agua (PAUL, 2016; DU,
86 2016; DÖRNHÖFER, 2016) así como bosques y clasificación de cultivos (IMMITZER, 2016).

87 88 **2. Objetivos**

89
90 Los trabajos desarrollados por el Grupo TRAGSA que se detallarán a continuación están
91 orientados a la producción de bases de datos e información GIS que permita el reemplazo de
92 información generada por operadores humanos (subjativa) por datos objetivos obtenidos a partir de
93 fuentes externas provenientes de sectores muy diferentes. La información generada y ya procesada
94 será publicada de forma completamente usable e inteligible por terceros y con aplicaciones
95 claramente dirigidas a una mejora en el conocimiento de la distribución de especies forestales y o
96 agrarias, atendiendo a su presencia, tipo, cambios o factores económicos, entre otros. Todos los
97 procesos que se expondrán son susceptibles de desarrollo automático y desatendido.

98 99 **3. Metodología**

100
101 El siguiente diagrama, Figura 1, ilustra la evolución de las diferentes fuentes de datos usadas,
102 sus transformaciones e integraciones con objeto de obtener los resultados finales:
103

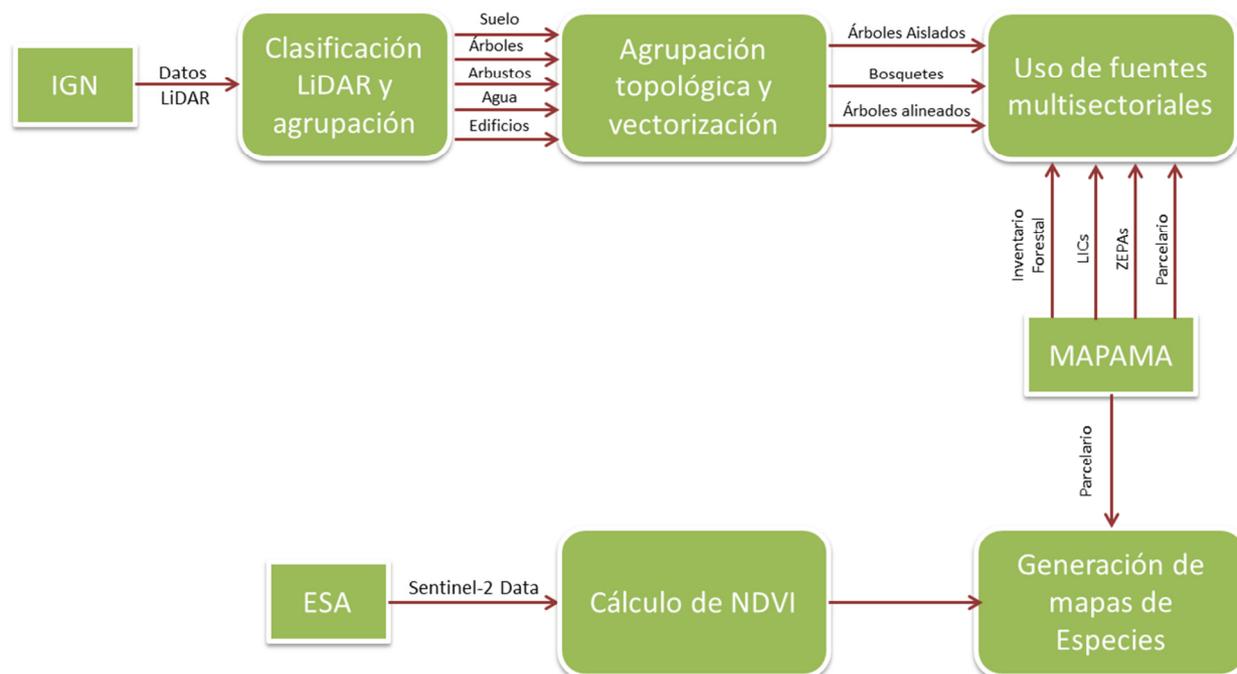


Figura 1. Flujo de datos

Como puede verse, existen diferentes fuentes que proporcionan libremente los datos necesarios para desarrollar la metodología expuesta. En particular, la Agencia Espacial Europea (ESA) pone a disposición los archivos Sentinel-2 y el Ministerio de Medio Ambiente y Agricultura de España (MAPAMA) proporciona múltiples bases de datos sobre datos forestales, agricultura y medio ambiente, como son el sistema de Identificación de Parcelas, Lugares de interés comunitario (LIC) o Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Con base en estos datos, se han desarrollado varios procesos automáticos para obtener los resultados finales.

Con respecto a los datos LiDAR, el algoritmo clasifica y agrupa la nube de puntos con objeto de simplificar la gran cantidad de datos. Las nubes de puntos se procesan topológicamente para obtener áreas conectadas como polígonos o para mantenerlas como puntos individuales que tienen una correspondencia directa con los elementos de paisaje, definiendo los parámetros de una parcela específica. Por último, las superposiciones e intersecciones de los mismos con parcelas catastrales y la información de la red Natura 2000 ayudan a definir un informe de valor ecológico, que se relaciona directamente con las ayudas de la PAC, por ejemplo.

En la primera etapa, los archivos .las fueron procesados por un algoritmo automático que clasifica la nube de puntos por altura creando diferentes grupos que tienen una correspondencia directa con las siguientes clases de vegetación, como puede verse en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de vegetación - LiDAR

Clase	Descripción	Tipo de Vegetación
2	Suelo	Suelo y vegetación no densa
15	15 0-40cm	Vegetación no densa
16	40-60cm	Vegetación no densa
17	60-80cm	Matorrales
18	80cm-1m	Matorrales
19	1m-1.5m	Matorrales
20	1.5m-2m	Matorrales

21	2m-3m	Árboles
22	3m-5m	Arboles
23	5m-10m	Arboles
24	>10m	Árboles
6	Edificios	Edificios
9	Agua	Agua

126

127

Después de esta clasificación, que responde únicamente a criterios del Grupo TRAGSA, se lleva a cabo una integración de diferentes clases, obteniendo las siguientes capas o mapas:

128

129

- Suelo = clase 2 + clase 15 + clase 16
- Matorrales = clase 17 + clase 18 + clase 19 + clase 20
- Árboles = clase 21 + clase 22 + clase 23 + clase 24
- Edificios = clase 6
- Agua = clase 9

130

131

132

133

134

A partir de estos cinco mapas intermedios se crea un fichero raster unificado que añade además otros datos como los factores de suelo, densidad de matorral o densidad de árboles.

135

136

La metodología propuesta, que se detalla a continuación, sigue las siguientes reglas para identificar formaciones como pueden ser árboles aislados o bosquetes: (i) se considerará como árbol aislado aquellas áreas entre 2 y 12 píxeles que impliquen una superficie de 50 a 300 m², (ii) Los bosquetes deben ser áreas con una superficie entre 12 y 120 píxeles, lo que supone de 300 a 3000 m², (iii) La altura de los píxeles clasificados como árboles debe ser superior a 3 metros o superior a 2 metros cuando su superficie tenga más de un 20% de las clases 22, 23, 24 (altura superior a 3 metros), (iv) Los píxeles pueden entrar en contacto con las clases de arbustos, sin embargo cuando el perímetro de contacto es mayor que el 25% y se tengan algunos puntos con altura superior a 3 metros, el elemento tratado se considerará árbol aislado y (v) La distancia entre 2 píxeles o grupo de píxeles debe ser de al menos 5 metros.

140

141

142

143

144

145

Con respecto a otras fuentes de datos, como los datos de satélite, el algoritmo de identificación de tipo de especies se basa en el índice de vegetación (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) generado a partir de baldosas Sentinel-2. El NDVI se calcula con bandas de la región espectral roja (Red) y cercana al infrarrojo (NIR), con la siguiente fórmula:

146

147

148

149

150

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

151

152

Las baldosas son la partición mínima indivisible de un producto Sentinel-2 y son orto imágenes de 100 km² en proyección UTM / WGS84. Después del cálculo del índice NDVI, es necesario analizar patrones de distribución relacionados con el comportamiento específico de determinadas especies. Estos datos se utilizan para construir un modelo de regla de decisión, que estima el tipo general de especie. No obstante, los resultados obtenidos no están aun plenamente implementados para el entorno forestal sino fundamentalmente para la determinación de patrones de riego en cultivos agrarios. Sin embargo, sí que se están desarrollando ya los algoritmos de utilización de imágenes de satélite para su aplicación a la sanidad vegetal.

153

154

155

156

157

158

Las bandas espectrales Sentinel-2 utilizadas para el cálculo NDVI, han sido la banda 4ª (región roja - Red) y 8ª (región cercana al infrarrojo - NIR). Esta última tiene 20 metros de tamaño de píxel, por lo que tuvo que ser re-muestreada a 10 metros. Las fuentes de datos utilizadas en ambas clasificaciones son el Índice de vegetación (NDVI) calculado con imágenes Sentinel-2A de diciembre de 2015 a agosto de 2016.

161

162

163

164

165

166
167
168

Las fechas en que se detectaron las imágenes son las mostradas en la Tabla 2:

Tabla 2. Datos de referencia Sentinel 2-A

Mes	Fecha de datos
diciembre	03/12/2015
enero	Enero 05/01/2016, 12/01/2016
febrero	04/02/2016
marzo	12/03/2016, 22/03/2016
abril	01/04/2016
mayo	04/05/2016, 21/05/2016
junio	23/06/2016
julio	03/07/2016, 30/07/2016
agosto	02/08/2016, 12/08/2016, 22/08/2016

169
170
171
172
173
174

4. Resultados

A continuación, Figura 2 y Figura 3, pueden verse algunos ejemplos que muestran la clasificación de píxeles y la identificación de elementos como árboles o bosquetes aislados.

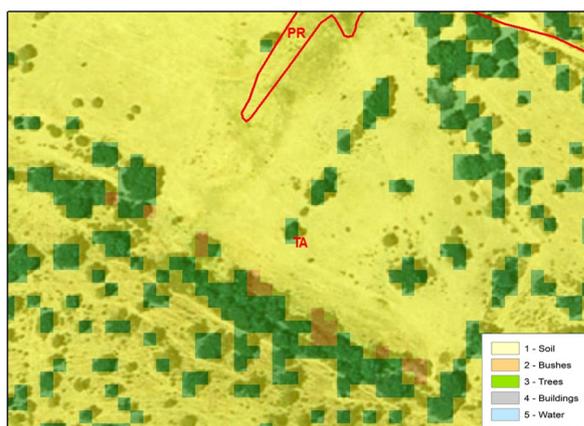


Figura 2. Clasificación final de píxeles: Suelo (amarillo), matorrales (naranja) y agrupaciones (verdes).

175
176
177

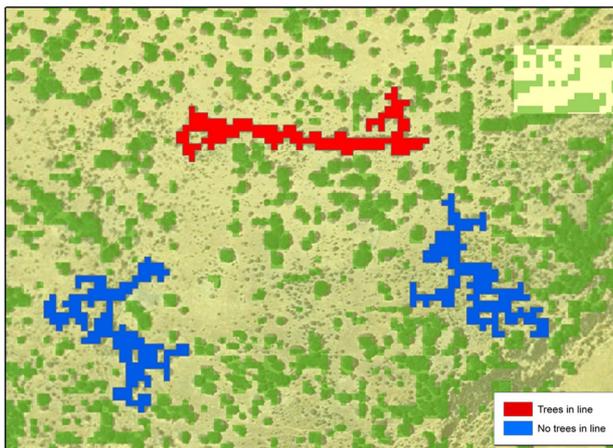


Figura 3. Identificación de árboles aislados (verde) y bosquetes (azul).

178
179

180 Con respecto a los árboles en línea, en principio, las reglas de identificación se consideraron
 181 similares al caso anterior. Sin embargo, después de una serie de pruebas, se concluye que, para
 182 obtener mayor éxito en la identificación, la metodología debe incluir análisis de forma para este tipo
 183 de elementos, considerando la superficie y los perímetros de estas áreas arbóreas. Se comprueba
 184 que la identificación de árboles en línea es un proceso complejo. Por esta razón, el primer paso es
 185 seleccionar superficies mayores de 3000 m², ya que las áreas más pequeñas pertenecerán a árboles
 186 aislados o bosquetes independientemente de su forma. Con respecto a estos parámetros, los árboles
 187 en línea deben tener las siguientes características: (i) Superficie superior a 3000 m², (ii) su superficie
 188 debe tener al menos un 20% de puntos de altura superiores a 3 metros, (iii) su perímetro de contacto
 189 con la clase de matorrales debe ser inferior al 25%, (iv) su superficie dividida por su perímetro debe
 190 ser inferior a 5 y (v) la raíz cuadrada del índice anterior debe ser menor que 0,1.

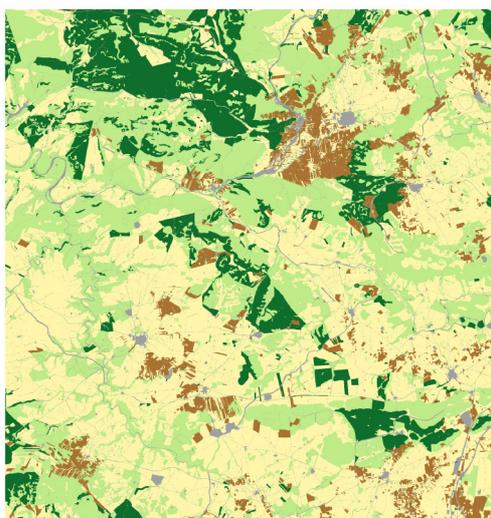
191 La siguiente imagen, Figura 4, muestra diferentes resultados de este proceso:



192
193 *Figura 4. Resultados del proceso de árboles alineados: Líneas (rojo) y grupos descartados (azul)*

194
195 Con respecto a los datos de satélite, partir de todas las imágenes de la Tabla 2 se calculó un
 196 índice NDVI sintético. Los valores de píxel del NDVI sintético corresponden al valor máximo de NDVI
 197 por mes con el fin de minimizar la cobertura de nubes y sombras. En caso de que en algún intervalo
 198 temporal no existan imágenes adecuadas, puede generarse un NDVI por interpolación de los valores
 199 NDVI entre periodos anteriores y siguientes. La distribución del índice NDVI vinculado a la información
 200 de parcelario, permite la obtención de mapas de zonas arboladas llegando incluso a la identificación
 201 de especies. En el caso de la Figura 5, puede verse la distribución de zonas de olivar:

202



203
204 *Figura 5. Resultados finales de la clasificación Sentinel-2. Verde oscuro, zonas arboladas, Marrón, zonas de olivar.*

205

206 Para la validación de los resultados, que arrojan exactitudes del 96% en el procesado Sentinel y
 207 92% en el procesado LiDAR, se utilizaron datos recogidos de encuestas de campo realizadas en
 208 2016.

209 Como queda previamente expuesto, usando procesos relativamente sencillos de clasificación
 210 de puntos y/o combinación algebraica de datos de píxeles de fuentes de datos que podrían ser
 211 consideradas como altamente especializadas o, por lo menos, como difíciles de manejar por usuarios
 212 no avanzados, es posible generar mapas y nuevos recursos de información sin otro esfuerzo que, una
 213 vez desarrollado el algoritmo de proceso, tiempo y recursos de servidores informáticos para el
 214 procesado de la información.

215 La principal ventaja añadida de este procesado es que puede transformarse información como
 216 la previamente expuesta, LiDAR e imágenes de satélite, en tablas de datos, mapas y capas sencillas
 217 que pueden ser publicadas desde cualquier visor simple y ser reutilizadas para los fines que terceros
 218 usuarios, la administración pública o la ciudadanía estime necesarios.

219 En particular, y con respecto a la gestión de montes, los mapas que se generarán usando las
 220 tecnologías desarrolladas serán, inicialmente:

- 221 1. Capas de cambios de cobertura
- 222 2. Capas sobre sanidad vegetal
- 223 3. Presencia de *Phytophthora Cinnamomi* y *Gonipterus Scutellatus*

224 Aunque se encuentran en fase de desarrollo preliminar muchos otros productos y servicios
 225 desarrollados a partir de las dos fuentes de datos tratadas.

226

227 5. Discusión

228

229 Aunque los resultados del procesado de datos LiDAR se han considerado completos para los
 230 fines perseguidos, en el caso de clasificación automática de las nubes de puntos y considerando los
 231 parámetros anteriores, se pueden detectar dos limitaciones principales. La identificación de
 232 elementos paisajísticos sobre cultivos permanentes no es exacta como consecuencia de la
 233 complejidad para diferenciar los cultivos leñosos (con altura entre 2-3 metros) y los árboles dispersos
 234 considerados como elementos del paisaje. Sin embargo, dentro de los cultivos permanentes con baja
 235 densidad y tamaño menor de la cubierta, la identificación obtiene una mayor precisión, como se
 236 muestra en la Figura 6, situada a continuación:

237

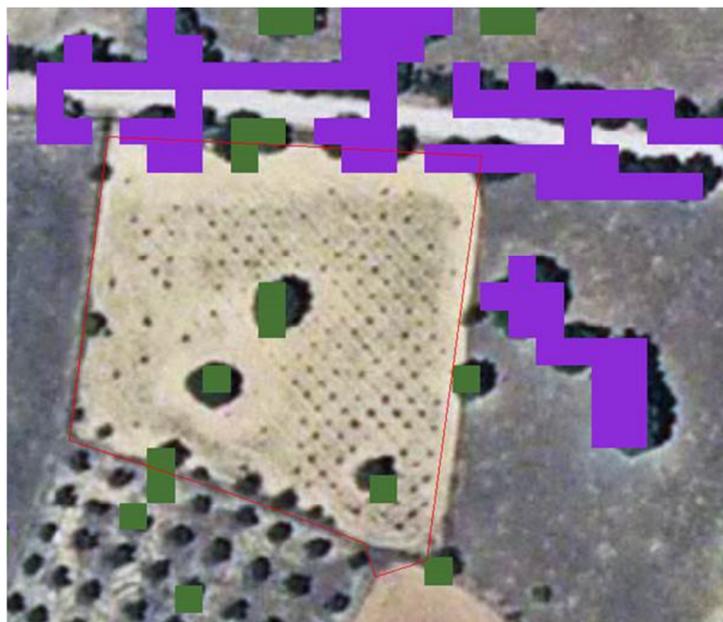


Figura 6. Detección de bosquetes(púrpura) y árboles aislados (verde)

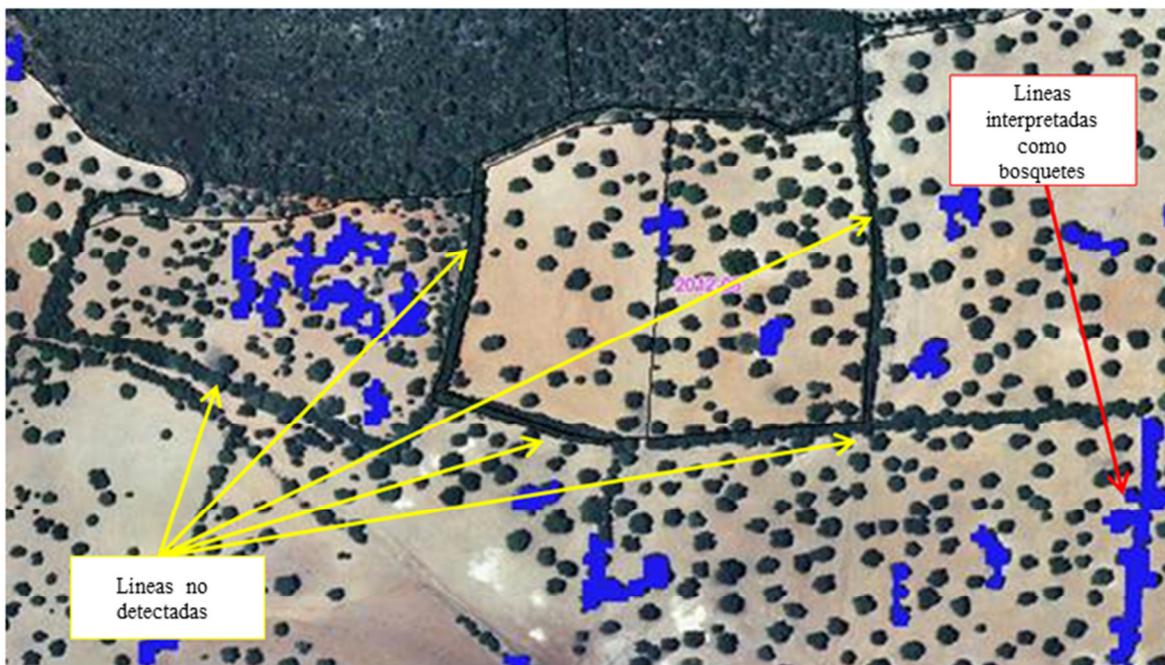
238

239

240

241 Por otro lado, todos los procesos de detección de árboles en línea por identificación
 242 automática fueron muy precisos, aunque sólo se detectaron pocas áreas debido a dos factores, como
 243 puede verse en la Figura 7:

- 244 1. Algunos árboles en las áreas de la línea fueron identificados como bosquetes porque su
 245 tamaño era inferior a 3000 m².
 246 2. No se detectaron otras áreas porque estaban conectadas con superficies arboladas más
 247 grandes.
 248



249 *Figura 7. Limitaciones en la detección de agrupaciones lineales.*

250 Aparte de estas limitaciones, el alto porcentaje de identificación de los elementos de paisaje
 251 permite una carga directa a la base de datos mediante la transformación de las imágenes originales
 252 en archivos vectoriales. Para este propósito, los píxeles clasificados como árboles aislados fueron
 253 vectorizados a través de su punto de centroide y píxeles identificados como bosquetes o árboles en
 254 línea fueron vectorizados como capas de tipo polígono.
 255

256 Además, aún queda por finalizar el proceso de integración de datos de satélite producidos a
 257 partir de imágenes Sentinel. Las características de rendimiento de Sentinel-2 para la clasificación de
 258 especies vegetales fue analizada por IMMITZER et al. (2016). Dicha clasificación se ensayó utilizando
 259 10 bandas espectrales Sentinel-2 de una fecha determinada, en una clasificación de bosque al azar.
 260 La principal desventaja de este método es que no muestra la evolución a través del tiempo que es un
 261 factor crucial en la identificación de los patrones de evolución. En el enfoque previamente planteado,
 262 utilizamos series temporales de NDVI para determinar la actividad de la vegetación (DEERING, 1978;
 263 TUCKER, 1979). Las propiedades de este índice favorecen la mitigación de una gran parte de las
 264 variaciones que aparecen en el sistema general de detección remota: radiometría, calibración
 265 espectral, ruido, geometría de visualización o condiciones atmosféricas cambiantes (BROWN, 2006).
 266 Para todos los cálculos y procesos previamente expuestos sólo se han utilizado imágenes con baja
 267 cobertura de nubes.
 268

269 Por otra parte, aun cuando las ventajas de la utilización de las fuentes de datos abiertas y
 270 gratuitas ya expuestas para la generación de nuevos productos son cualitativamente claras, queda
 271 mucho por avanzar en la determinación de las ventajas cuantitativas de su uso. En efecto, en
 272 desarrollos posteriores se intentará cuantificar el impacto, o ventaja económica, derivada de las
 273 nuevas bases de datos y capas de mapa generadas y como afectan a la eficacia de la gestión
 274 forestal.

275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287

6. Conclusiones

El despliegue del algoritmo LiDAR ha sido evaluado por la administración pública española como paso previo a la fotointerpretación en las tareas de control de asignación de subvenciones de la PAC, en particular en aquellas medidas relacionadas con parcelas de uso forestal. Se ha demostrado que la provisión de las capas auxiliares procedentes de LiDAR facilita el trabajo de los operadores y foto intérpretes, generando información objetiva. Sin embargo, en esta etapa, una carga directa de la capa de elementos de paisaje automática a la base de datos pública del SigPAC no es posible todavía porque su precisión necesita mejoras. Además, una desventaja de la disponibilidad de datos LiDAR es su fecha de cobertura. Los primeros vuelos comenzaron en 2008 y se extienden hasta 2014, como puede verse en la Figura 8.

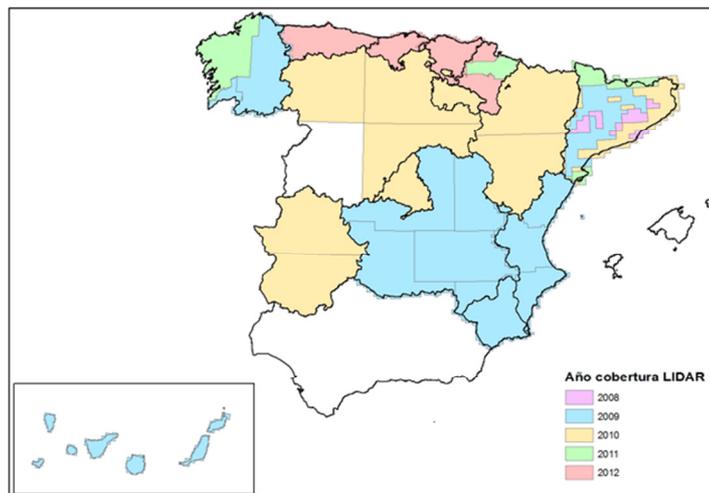


Figura 8. Cobertura LiDAR en España.

288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313

Por esta razón, algunos resultados en la detección automática de los elementos del paisaje podrían no ser confiables. Sin embargo, actualmente, el procesamiento LiDAR puede ser mejorado mediante el contraste y actualización de sus resultados a partir de los datos Sentinel, que es una fuente de datos con mayor frecuencia de actualización y que permite comprobar que característica determinada tiene correspondencia con qué áreas de vegetación (SUÁREZ, 2005). Esta aproximación permitirá incluir un nuevo proceso en la metodología con el fin de mejorar la precisión en la detección automática de elementos de paisaje.

Por otro lado, los resultados finales del procesamiento LiDAR permiten identificar pequeños ecosistemas en entornos agrícolas que pueden ser útiles para estudios ecológicos y no sólo para definir los parámetros forestales y/o agrícolas en una parcela específica, mientras que los mapas obtenidos de Sentinel-2 permiten identificar tipos específicos de especies. La alta frecuencia de actualización permite, además, recolectar series temporales densas sin retrasos importantes. Esta característica de Sentinel-2 junto con su alta resolución ha permitido la identificación de áreas de especies con una alta precisión. Los métodos utilizados en este estudio pueden aplicarse a otros tipos de vegetación en otras partes del mundo.

Aunque este estudio se centra en una serie de cuestiones concretas, es importante destacar que queda un amplio campo de estudio para seguir avanzando en la determinación de especies forestales y agrícolas con Sentinel-2, aunque es claro que se requiere más investigación para determinar la eficacia de las bandas espectrales Sentinel-2 con respecto a especies determinadas.

Se espera que el uso masivo de las imágenes Sentinel-2 y LiDAR haga que, en particular, la gestión y generación de inventario forestal sea más fácil y económica. Sin embargo, el uso de estos datos está condicionado por la creación de un marco legislativo específico y el desarrollo de nuevas metodologías y tecnologías de análisis relacionadas con el gran volumen de los datos implicados.

314 **1. Agradecimientos**

315

316 Los resultados expuestos han sido financiados parcialmente por los proyectos Europeos
 317 proDataMarket y DataBio, financiados por la Comisión Europea bajo los acuerdos de financiación N°
 318 644497 y 732064, respectivamente.

319

320 **2. Bibliografía**

321

322 1. LEFSKY, M. A., et al.; 2002. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies. *BioScience*.
 323 Vol. 52, Número 1, Página 19-30.

324

325 2. RICO, O.; 2015. El PNOA-LIDAR-CYL-2010: condicionantes técnicos de su elaboración,
 326 limitaciones y potencialidades para su aprovechamiento. *Revista de Geografía*.
 327 Número 27, Página 271-294.

328

329 3. MONTEALEGRE, A. L.; LAMELAS, M. T. y RIVA, J.; 2014. Evaluación de métodos de
 330 interpolación utilizados en la creación de modelos digitales de elevaciones para la
 331 normalización de la nube de puntos LIDAR-PNOA en aplicaciones forestales.

332

333 4. TOMÉ MORÁN, J. L., et al; 2013. Cartografía de Vegetación en la Comunidad de
 334 Madrid utilizando información LiDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).
 335 *Congresos Forestales*.

336

337 5. HUG, Ch; KRZYSZEK, P. y FUCHS, W.; 2004. Advanced lidar data processing with
 338 LasTools. *XXth ISPRS Congress*. Página 12-23.

339

340 6. WULDER, M. A.; MASEK, J. G.; COHEN, W. B.; LOVELAND, T. R. y WOODCOCK, C. E.;
 341 2012. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring
 342 promise of Landsat. *Remote Sens. Environ.* Número 122, Página 2-10.

343

344 7. MALENOVSKÝ, Z.; ROTT, H.; CIHLAR, J.; SCHAEPMAN, M.E.; GARCÍA-SANTOS, G.;
 345 FERNANDES, R. y BERGER, M.; 2012. Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2
 346 and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote
 347 Sens. Environ.* Número 120, Página 91-101.

348

349 8. VAN DER WERFF, H. y VAN DER MEER, F.; 2016. Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI
 350 provide data continuity for geological remote sensing. *Remote Sens.* Número 8(11),
 351 Página 883.

352

353 9. RADOUX, J.; CHOMÉ, G.; JACQUES, D.; WALDNER, F.; BELLEMANS, N.; MATTON, N.;
 354 LAMARCHE, C.; D'ANDRIMONT, R. y DEFOURNY, P.; 2016. Sentinel-2's Potential for
 355 Sub-Pixel Landscape Feature Detection. *Remote Sens.* Número 8, Página 488.

356

357 10. PESARESI, M.; CORBANE, C.; JULEA, A.; FLORCZYK, A.; SYRRIS, V. y SOILLE, P.; 2016.
 358 Assessment of the Added-Value of Sentinel-2 for Detecting Built-up Areas. *Remote
 359 Sens.* Número 8, Página 299.

360

361 11. LEFEBVRE, A.; SANNIER, C. y CORPETTI, T.; 2016. Monitoring Urban Areas with
 362 Sentinel-2A Data: Application to the Update of the Copernicus High Resolution Layer
 363 Imperviousness Degree. *Remote Sens.* Número 8, Página 606.

- 364 12. PAUL, F.; WINSVOLD, S.; KÄÄB, A.; NAGLER, T. y SCHWAIZER, G.; 2016. Glacier Remote
365 Sensing Using Sentinel-2. Part II: Mapping Glacier Extents and Surface Facies, and
366 Comparison to Landsat 8. *Remote Sens.* Número 8, Página 575.
367
- 368 13. DU, Y.; ZHANG, Y.; LING, F.; WANG, Q.; LI, W. y LI, X.; 2016. Water Bodies' Mapping
369 from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m
370 Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sens.* Número 8,
371 Página 354.
372
- 373 14. DÖRNHÖFER, K.; GÖRITZ, A.; GEGER, P.; PFLUG, B. y OPPELT, N.; 2016. Water
374 Constituents and Water Depth Retrieval from Sentinel-2A—A First Evaluation in an
375 Oligotrophic Lake. *Remote Sensing*, Número 8(11), Página 941.
376
- 377 15. IMMITZER, M.; VUOLO, F. y ATZBERGER, C.; 2016. First Experience with Sentinel-2 Data
378 for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sens.* Número 8,
379 Página 166.
380
- 381 16. DEERING D. W.; 1978. Rangeland Reflectance Characteristics Measured by Aircraft
382 and Spacecraft Sensors. *Deering*. Página 338.
383
- 384 17. TUCKER, C. J.; 1979. Red and photographic infrared linear combinations for
385 monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* Volumen 8, Página 127-150.
386
- 387 18. BROWN, M. E.; PINZÓN, J. E.; DIDAN, K.; MORISETTE, J. T. y TUCKER, C. J.; 2006.
388 Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR,
389 SPOT-vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM+ sensors. *IEEE Transactions on*
390 *Geoscience and Remote Sensing*. Número 44(7), Página 1787-1793.
391
- 392 19. SUÁREZ, Juan., et al; 2005. Use of airborne LiDAR and aerial photography in the
393 estimation of individual tree heights in forestry. *Computers & Geosciences*. Número 2,
394 Página 253 - 262.