



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

FMAP tecnología española monitorizando los bosques europeos

TOMÉ MORÁN, J.L.¹, GARCÍA CASTILLO, D.¹, OLIVAR RUÍZ, J., RANZ VEGA, P.¹ y MARTÍN ALCON, S.¹

¹ AGRESTA Sociedad Cooperativa.

Resumen

La estrategia española de datos abiertos ha motivado que España cuente con varias empresas líderes en las aplicaciones de monitorización de bosques con sensores remotos. A través de la combinación de datos LiDAR del PNOA y datos de campo del Inventario Forestal Nacional (IFN) se han monitorizado desde montes hasta regiones enteras en España habiéndose incorporado esta tecnología operativamente como parte de los procesos de planificación forestal. Sin embargo, en Europa nos encontramos con una situación muy distinta, en la mayor parte de nuestros socios europeos el uso de sensores remotos se encuentra muy limitado al ámbito de la investigación. A través de FMAP, un proyecto europeo financiado por el SME Instrument del H2020, desde Agresta hemos planteado exportar esta tecnología a distintos países europeos. Combinando datos LiDAR, fotogramétricos y satelitales se han monitorizado proyectos piloto en los bosques de Alemania, Eslovenia, Finlandia, Francia, Italia y Portugal trabajando con las principales especies forestales del continente. Nuestros resultados confirman que técnicamente es viable hacer una monitorización continua de los bosques europeos con estas tecnologías, siendo una oportunidad de negocio para que nuestras empresas vendan y transfieran su tecnología al sector forestal europeo.

Palabras clave

Inventario forestal, sentinel, lidar, sensores remotos, satélite, datos abiertos.

1. Introducción

La información disponible para el estudio del medio natural ha sufrido una revolución en los últimos años merced tanto a las mejoras tecnológicas como a la tendencia general de poner en abierto la información pública. Los procesos de datos abiertos impulsados por la expectativa de los gobiernos en que un mayor acceso a la información y el conocimiento ponga en valor las inversiones de captura de datos, suponen una enorme oportunidad para el desarrollo de nuevas innovaciones y oportunidades de negocio (Huijboom y van den Broek, 2011). En este sentido en Europa ha tenido un impacto determinante la Directiva INSPIRE (2007/2/CE) orientada a hacer accesible la información geográfica relevante, concertada y de calidad, de forma que permita su utilización para el desarrollo de herramientas que contribuyan a los objetivos estratégicos de la Unión Europea.

Hoy en día, España es uno de los países líderes en cuanto a política de datos públicos abiertos. En 2021 según el European Data Portal (EPD) nos encontramos en la tercera posición con una puntuación del 95%, 14 puntos por encima de la media de los 27 países paneuropeos. Dentro de esta política de datos abiertos se encuentran muchas de las fuentes que los forestales utilizamos en nuestro trabajo diario, tales como las ortofotos, bases de datos del Inventario Forestal Nacional, datos LiDAR, etc. En concreto la orden ministerial FOM/2807/2015, de 18 de diciembre, que

aprobó la nueva política de difusión pública de la información generada por el Instituto Geográfico Nacional de España, ha supuesto una revolución para las empresas permitiendo el uso comercial de los datos producidos por el IGN siempre que se mencione su autoría según establezca la correspondiente licencia de uso.

Esto ha posibilitado que, en los últimos años, metodologías como el inventario LiDAR por métodos de masa, que se aplicaban casi exclusivamente en el ámbito científico (González-Ferreiro; 2012), se transfieran a través de las empresas de manera operativa a las planificaciones forestales, hasta el punto que actualmente la mayor parte de las administraciones forestales autonómicas han incorporado en sus pliegos de prescripciones técnicas condicionantes relativos a su uso. De este modo, hoy en día el LiDAR es un recurso técnico más para abordar los inventarios tanto a escala monte como incluso a escala regional (Blanco et al, 2017; Tomé et al, 2017).

Sin embargo, a nivel europeo la situación es muy dispar. Si bien hay numerosos países que tienen programas nacionales de captura de información LiDAR aerotransportada a escala nacional tales como, por ejemplo: Dinamarca, Eslovenia, Finlandia, Polonia, Suiza, Inglaterra o Suecia. En muchos de ellos no ha habido un desarrollo tecnológico paralelo a estos programas en el sector forestal, bien porque no tienen datos en abierto o bien porque hasta el momento no se ha apostado por esta tecnología de manera operativa, con lo que en gran parte de Europa se sigue trabajando con metodologías tradicionales de inventario.

Un caso especialmente notable en el sentido contrario es Finlandia, donde existe una enorme tecnificación de la captura de datos Forestales, liderada por el Metsäkeskus, Centro Forestal Finlandés (FFC). El FFC es un organismo público que, operando bajo la dirección del Ministerio de Agricultura y Silvicultura de Finlandia, recoge datos provisionados por el sector privado. Estos datos son mayoritariamente puestos a disposición de los propietarios forestales a través de la plataforma Metsään.fi desarrollada por el FFC desde 2012 que permite llevar a cabo una gestión del territorio a través de internet, llegando al punto de poner en contacto a propietarios y proveedores de servicios forestales (Ratala et al, 2020). Esto tiene un especial interés en un país como Finlandia donde cerca del 60 % de la superficie forestal es privada y se calcula que alrededor de 632.000 personas, un 11 % de la población del país posee al menos dos hectáreas de bosque (Natural Resources Institute Finland, 2015).

En España algunas empresas llevamos ya más de 10 años trabajando con LiDAR. Agresta desarrolló su primer prototipo de plataforma de venta de inventario forestal LiDAR entre 2014 y 2015, en el marco del proyecto Sistemas Integrados Online de Cartografía e Inventario Forestal en Grandes Superficies basado en Información LiDAR (Tome et al, 2017). Dicho prototipo financiado por el Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) a través del Mecanismo Financiero del Espacio Económico Europeo (EEA) para el período 2009-2014 (EEA-Grants), permitió desarrollar una interfaz de visualización, geoprocesamiento y descarga de la información generada utilizando servidores de datos y geoservicios en 10 provincias a lo largo de la geografía española.

Inspirados en el potencial demostrado por este piloto, y con la doble esperanza de poner en valor todo lo aprendido en España en este campo y transferir a nuestros vecinos europeos estos conocimientos, desde Agresta presentamos a la convocatoria SME Instrument del programa H2020

el proyecto [FMAP “Quick and cost-effective integrated web platform for forest inventories”](#). El proyecto fue finalmente financiado por la Comisión Europea y se está desarrollando entre los meses de octubre de 2019 y julio de 2021 prórroga incluida. Con objeto de tener una muestra amplia de los diferentes escenarios europeos, se seleccionaron países con distintas características, tanto en lo referente a sus formaciones forestales dominantes, como en lo que respecta al desarrollo y características de su sector forestal. Finalmente fueron seleccionadas zonas piloto en Traustein (Alemania), Pokljuka (Eslovenia), Monforte de Lemos (España), Las Landas y Baigorri (Francia), Lapinsalo (Finlandia), Toscana (Italia) y Modin de bastos (Portugal). A pesar de la coincidencia del mismo con la explosión del COVID19 en Europa, el proyecto nos ha permitido a través de visitas in situ y colaboración con nuestros socios europeos, conocer de primera mano la situación en cuanto al desarrollo tecnológico de la monitorización de bosques en los distintos países europeos objeto de estudio.

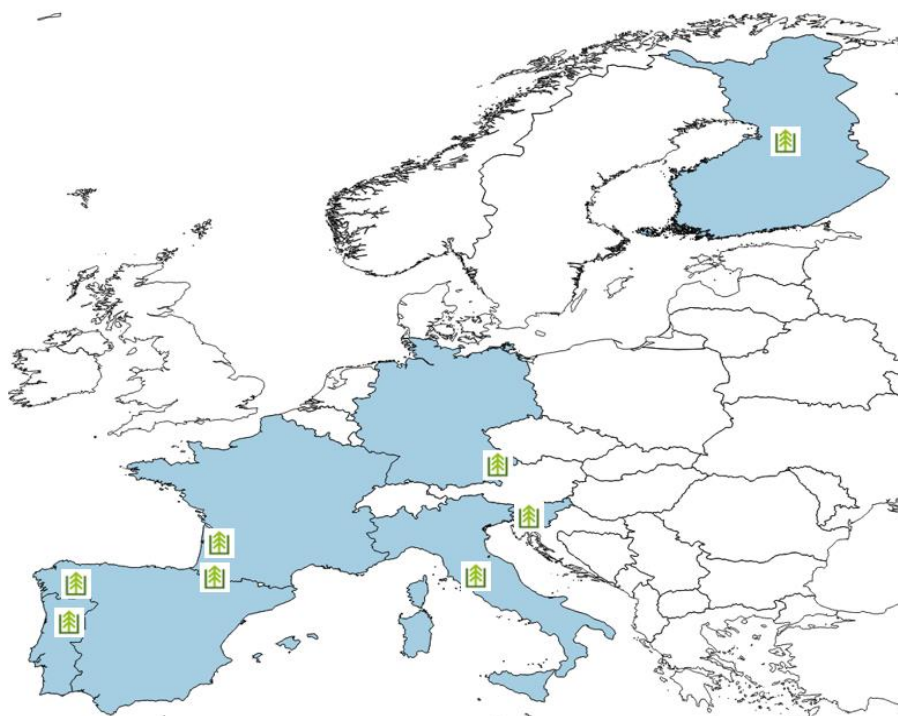


Figura 1. Localización de las zonas piloto en los países seleccionados.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente artículo es demostrar que la tecnología que venimos usando en España puede ser exportada a otros países de Europa, como una tecnología puntera y competitiva, capaz incluso de competir con los países nórdicos, que tradicionalmente han dominado este campo.

De la misma manera pretendemos, a través del mismo, alentar tanto a compañeros y compañeras de profesión debidamente formados como a otras consultoras forestales españolas especialistas en sensores remotos, a tomar consciencia de la posición privilegiada que tenemos hoy día para competir a nivel europeo merced a la política de datos abiertos nacional.

3. Metodología

Uno de los principales retos a los que nos hemos enfrentado en el proyecto ha sido la heterogeneidad de los datos disponibles en las distintas zonas piloto (Tabla 1). Tal como se ha comentado se han seleccionado distintos países con distintas situaciones, también en cuanto a la disponibilidad de información. Eslovenia, España y Finlandia tienen datos LiDAR abiertos capturados en distintas anualidades, si bien solo España y Finlandia gozan de más de una cobertura LiDAR a fecha de redacción del presente artículo. En Portugal e Italia no existen programas nacionales de captura de datos por lo que fue necesario llevar a cabo vuelos específicos en el marco del proyecto. En Alemania la política de datos abiertos depende de cada estado federado, en Baviera en concreto el Instituto Cartográfico vende todos los datos disponibles, por lo que fue necesario adquirirlos para trabajar con ellos. Además, en este caso concreto, los datos LiDAR provenían de 2011 por lo que estaban obsoletos y fue necesario trabajar con una combinación de nubes de puntos LiDAR y fotogramétricas para poder desarrollar las cartografías de la zona piloto. Por último, en Francia resulta especialmente complicado conseguir información debido a la política del Instituto Nacional de Información Cartográfica y Forestal (IGN), que a pesar de disponer de datos LiDAR de distintas zonas del país, no ofrecía en su momento ni siquiera la posibilidad de comprarlos, siendo únicamente posible adquirir productos derivados de los mismos. Por esta razón, para poder trabajar en Francia, fue necesario hacer un vuelo específico en las Landas y trabajar en una zona del Pirineo francés donde disponíamos de datos del vuelo PNOA de segunda cobertura en Navarra.

Tabla 1. Fuentes de datos utilizadas y especie principal presente en las distintas zonas piloto.

País	Nube de puntos	Datos de campo	Satélite	Especies modelizadas
Alemania	Fotogramétrica/LiDAR	Parcelas propias	Sentinel 2	<i>Picea abies</i>
Eslovenia	Fotogramétrica/LiDAR	Parcelas del servicio forestal esloveno	Sentinel 2	<i>Picea abies</i>
España	LiDAR	Parcelas IFN	Sentinel 2	<i>Pinus radiata</i> , <i>Pinus pinaster</i> subsp. Marítima, <i>Pinus sylvestris</i>
Francia	LiDAR	Parcelas propias/IFN	Sentinel 2	<i>Pinus pinaster</i> subsp. Marítima, <i>Fagus sylvatica</i>
Finlandia	LiDAR	Parcelas IFN	Sentinel 2	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Picea abies</i>
Italia	LiDAR	Parcelas propias	Sentinel 2	<i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Quercus cerris</i>
Portugal	LiDAR	Parcelas propias/IFN	Sentinel 2	<i>Pinus pinaster</i> subsp. Marítima, <i>Eucalyptus sp</i>

La metodología general de tratamiento de datos ha sido común a todas las zonas piloto (Figura 2). Se ha seleccionado una resolución de 20x20 m para el procesamiento de las nubes de puntos LiDAR de manera que el tamaño de píxel sea equivalente a una de las resoluciones espaciales de Sentinel 2. Sin embargo, en cada una de ellas ha sido necesario abordar el trabajo específicamente para resolver las distintas peculiaridades que nos hemos encontrado en cada zona piloto debido principalmente a la heterogeneidad de los datos.

Esta heterogeneidad se ha dado fundamentalmente en los datos de inventario utilizados suministrados por los Inventarios Forestales Nacionales, por nuestros colaboradores locales o capturados por nuestros equipos de campo mediante mediciones de parcelas de inventario, así como en los datos de nubes de puntos provenientes de vuelos LiDAR y/o fotogramétricos capturadas en distintas fechas y con resoluciones variables.

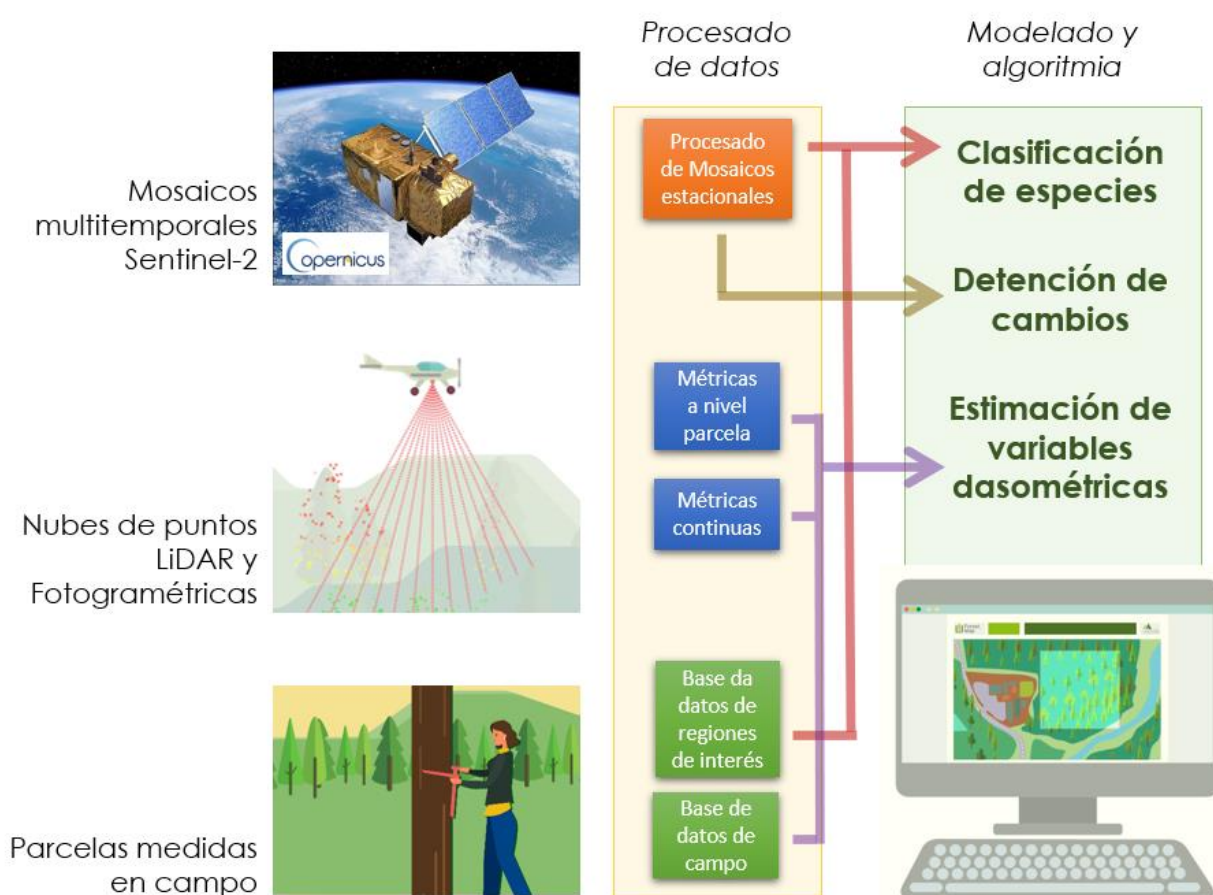


Figura 2. Metodología general utilizada para el tratamiento de datos y la modelización de las zonas piloto

Tal como se puede ver en el esquema de la Figura 2, el procedimiento combina distintas fuentes de datos remotos con objeto de aprovechar sus diferentes virtudes a la hora de generar información descriptiva de las masas forestales estudiadas.

Fundamentalmente, la metodología se aprovecha de la información espectral de Sentinel 2 para la detección de cambios en las masas forestales (cambios ocurridos con posterioridad a la captura de las nubes de puntos que nos proporcionan la información de la estructura forestal). Para ello se ha trabajado en cada zona piloto con imágenes Sentinel-2 L2A con menos del 10 % de cobertura de nubes, multitemporales (imágenes de otoño y primavera) y generando mosaicos estacionales mediante el método del máximo NDVI (Holben, 1986) para generar una única imagen multibanda con el mínimo número de defectos posibles para cada periodo analizado.

Estos mismos mosaicos generados con las imágenes Sentinel se han utilizado para generar los mapas de vegetación de las zonas piloto mediante clasificación supervisada. Para ello, se han combinado muestras de verdad terreno conformadas por parcelas de campo y fotointerpretadas, con variables espectrales calculadas desde los mosaicos estacionales, esta vez trabajando con una resolución espacial de 10 metros, con la intención de obtener un mejor detalle en el proceso posterior de delimitación automática de teselas o rodales con vegetación diferenciada.

Por último, se han generado modelos no paramétricos mediante métodos de masa para la predicción de las principales variables dasométricas a escala de celda y rodal para las especies objetivo en cada una de las zonas piloto seleccionadas. Las principales variables dasométricas modelizadas han sido: número de pies por hectárea (N, pies/ha), área basimétrica (G, m²/ha), volumen (V, m³/ha), crecimiento (IAVC, m³/ha-año), diámetro cuadrático medio (Dg, cm) y altura dominante (Ho, m). Los modelos se han realizado combinando las bases de datos de campo disponibles en cada uno de las zonas piloto, con los datos LiDAR o Fotogramétricos disponibles de cara a generar cartografías de alta resolución, y espacialmente continuas.

De cara a facilitar el acceso y el análisis de los resultados obtenidos con los usuarios potenciales se han incorporado los algoritmos generados a la plataforma ForestMap, desarrollada por Agresta. S. COOP. ForestMap permite almacenar los resultados en un sistema gestor de base de datos Postgres, gracias al uso de PostGIS (extensión para añadir soporte de objetos geográficos). Utiliza la librería Javascript Leaflet, como motor de mapas para el *frontend*, de cara a que el usuario puede seleccionar las zonas de interés y acceder a una pasarela de pago dentro de la misma aplicación, haciendo uso de Stripe. Tras el pago, la aplicación gestiona el procesamiento de datos LiDAR, permitiendo completar el proceso de compra de inventario en tiempo real.

4. Resultados

Se ha trabajado con 12 estratos diferentes de coníferas y frondosas en las distintas zonas piloto. La bondad de ajuste de los modelos obtenidos, como no podría ser de otra manera, es muy variable debido al uso de distintas fuentes de datos, en la Tabla 2 podemos ver el error cuadrático medio (RMSE) absoluto y relativo para la muestra de ajuste de los principales estratos ajustados por país.

Tabla 2. RMSE y RMSEr relativo para las existencias en volumen de las principales especies estudiadas en las zonas piloto.

País	Especie principal	RMSE (m ³ /ha)	RMSEr (%)
Alemania	<i>Picea abies</i>	68,741	17,229
Eslovenia	<i>Picea abies</i>	60,605	10,902
España	<i>Pinus radiata</i>	38,699	15,164
España	<i>Pinus pinaster</i> subsp. <i>maritima</i>	35,971	14,991
España	<i>Pinus sylvestris</i>	28,717	14,067
Francia	<i>Pinus pinaster</i> subsp. <i>maritima</i>	59,133	21,969
Francia	<i>Fagus sylvatica</i>	30,435	13,313
Finlandia	<i>Pinus sylvestris fustal</i>	32,979	16,938
Finlandia	<i>Picea abies</i>	36,147	19,287
Italia	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	91,897	22,703
Italia	<i>Quercus cerris</i>	15,73	17,232
Portugal (*)	<i>Pinus pinaster</i> subsp. <i>maritima</i>	77,516	33,397
Portugal (*)	<i>Eucaliptus</i> sp.	22,196	21,608

(*) Validación Independiente

Los resultados se han presentado en todos los países objetivo contribuyendo a la difusión de la tecnología LiDAR, siendo en muchas ocasiones la primera experiencia con inventario LiDAR para nuestros socios y colaboradores locales. En la siguiente figura se puede apreciar algunas de las jornadas organizadas en Eslovenia para la presentación de los resultados la zona piloto de Pokljuka (Eslovenia), como parte de la transferencia de resultados realizada durante la fase de difusión del proyecto.





Figura 3. Presentaciones de los resultados del proyecto piloto en Pokljuka (Eslovenia) al Slovenian Forest Service. Arriba con los forestales responsables de la gestión de Pokljuka abajo con los técnicos responsables de la preparación de los instrumentos de planificación del mismo.

Todos los resultados se han implementado en una plataforma de gestión de información y venta, que consta de un visor donde los usuarios una vez pueden seleccionar un área de interés, a través de diferentes opciones (mano alzada, subiendo una geometría o con el catastro cuando este está disponible). Una vez hecho esto, la plataforma ejecuta una serie de geoservicios necesarios para el cálculo de la información requerida por parte del usuario. A los pocos minutos el cliente recibe un correo en el que se le invita a acceder a su un panel de usuario donde puede gestionar sus pedidos y descargar la cartografía asociada a los mismos si lo necesita (Figura 4).

ID	Nombre de usuario	Fecha	Tipo de entrada	Área (ha)	Estado
dgarcia_16-12-21_191250	dgarcia	16/12/2021	Catastro	7,41	Validado
dgarcia_16-12-21_190648	dgarcia	16/12/2021	Catastro	0,457	Validado
dgarcia_16-12-21_190645	dgarcia	16/12/2021	Catastro	0,457	Validado
dgarcia_16-12-21_160900	dgarcia	16/12/2021	Mano alzada	5,437	Validado
dgarcia_16-12-21_160744	dgarcia	16/12/2021	Mano alzada	4,146	Validado

Figura 4. Zona de usuario de la plataforma β de ForestMAP, desde la que el usuario puede acceder a los datos de cada uno de los pedidos solicitados.

Con objeto de facilitar el análisis de los resultados de inventario de una manera dinámica, la plataforma incorpora un dashboard que permite filtrar la información y poder acceder a los distintos datos a través del visor cartográfico, y una batería de gráficos y tablas almacenados en la base de datos de inventario.

5. Discusión

Los resultados están dentro del orden de magnitud de los obtenidos en estudios científicos con parcelas de campo y vuelos específicos en bosques nórdicos (Holgren, 2004; Næsset, 2004) siendo acordes también a los resultados obtenidos en zonas mediterráneas por las distintas empresas y grupos de investigación que nos dedicamos a este tipo de inventarios tecnológicos (Holgren, 2004; Næsset, 2004; Fernandez-Landa et al., 2018; Gómez et al., 2019).

Esto confirma, que la tecnología que empleamos en España puede competir al mismo nivel que la que puedan estar usando en países muy tecnificados como los del norte de Europa, y más concretamente Finlandia.

En los últimos años la industria europea ha dado un gran salto en cuanto a la incorporación de nuevos productos de madera de base tecnológica. Sin embargo, a excepción de los países nórdicos, el resto de la cadena de valor forestal no se ha puesto a ese nivel de tecnificación. Desde nuestro punto de vista, el mercado europeo ahora mismo está reclamando tecnologías que permitan tecnificar y digitalizar toda la parte de aprovechamientos y logística equiparándose al nivel que tiene la industria. En este sentido, las consultoras forestales europeas nos enfrentamos al reto de desarrollar distintas soluciones de inventario, control de aprovechamientos y trazabilidad de productos forestales que contribuyan a cubrir las necesidades del sector.

Las empresas españolas llevamos trabajando con LiDAR desde 2009 (Rodríguez et al 2014) y nos encontramos entre las mejor capacitadas a nivel europeo para poder aportar al mercado un conocimiento acumulado durante más de 10 años en nuestro país. Mientras que en muchos de nuestros países vecinos hoy en día todavía miran al LiDAR como algo novedoso, nuestras empresas ya tienen trasferida la tecnología a sus departamentos de inventario forestal y estamos en una posición privilegiada para poder competir en ese 40 % de la superficie forestal europea cubierta por bosques y arbolado. Esto puede ser una oportunidad para que en los próximos años demos respuestas a las necesidades de un mercado europeo que apuesta por la bioeconomía, consolidando la madera de construcción y llamando a incrementar la demanda de productos madereros y por tanto de aprovechamientos forestales que habrá que inventariar.

Esta oportunidad actual es la prueba de que las políticas de datos abiertos generan beneficios económicos en los ecosistemas de empresas que las aprovechan. De hecho, las políticas de datos abiertos son una oportunidad notable para recuperar las inversiones que han supuesto los programas de captura de estos datos. A través de las sinergias que se generan por la descarga y utilización masiva de los datos se multiplican los beneficios económicos y científicos compensando las inversiones incluso en proyectos tan ambiciosos como el programa Landsat (National Research Council, 2013). Según el Copernicus market report de 2019 la inversión realizada en el programa Copernicus entre el año 2008 y el año 2020 es de 8,2 billones de euros, mientras que el valor

económico generado por esta inversión se estima entre los 16,2 y los 21,3 millones de euros, razón por la cual desde la Unión Europea se está haciendo un especial esfuerzo en que las empresas utilicemos y saquemos partido a todo el potencial de datos abiertos del mismo.

En el caso de Agresta, el trabajar con datos abiertos y sensores remotos nos ha permitido consolidar nuestra posición como una de las principales consultoras forestales tecnológicas de nuestro país, Esperamos que el paso que hemos dado con el proyecto ForestMap en Europa nos ayude a poner en valor todo lo aprendido y dar un primer paso para vender nuestros productos en el mercado europeo al igual que lo hemos venido haciendo en los últimos 10 años en España.

6. Conclusiones

A través de ForestMap hemos podido pulsar el estado de los inventarios forestales en Europa, y hemos podido ejecutar experiencias piloto de inventario forestal basadas en datos remotos. Los resultados de nuestros inventarios ofrecen precisiones comparables a la de estudios científicos en las mismas zonas en las que hemos trabajado pudiendo competir incluso en Finlandia con uno de los sectores forestales más tecnificados de Europa.

Gracias a las oportunidades que hemos tenido en España merced a una política de datos abiertos, las empresas españolas manejamos una tecnología altamente competitiva, lo supone una oportunidad de penetración en los mercados europeos para aquellas empresas y profesionales capacitados en aunar el conocimiento forestal y la ciencia de datos.

Trabajar en otros países europeos con casos diversos de aplicación, en los que se dan circunstancias y necesidades dispares, nos aporta a las empresas una gran oportunidad de desarrollo. De esta manera en Agresta hemos adquirido un panorama más amplio del contexto europeo, estableciendo redes de colaboración de alto valor y respondiendo a retos que nos aportan nuevas competencias. Las herramientas y las funcionalidades desarrolladas también nos han permitido dar un salto adelante, facilitándonos la creación de servicios y productos de mayor valor añadido tanto en nuestros mercados habituales como en los nuevos.

7. Agradecimientos

Los autores de la presente comunicación queremos agradecer especialmente a la Comisión Europea y a los distintos gobiernos de España el fomento de la política de datos abiertos que nos ha permitido poder desarrollar el proyecto ForestMAP financiado por el programa SME Instrument bajo referencia 858664. Este proyecto no habría sido posible sin el apoyo de nuestros principales socios en los distintos proyectos pilotos, a todos ellos agradecerles su generosa colaboración que finalmente ha ido mucho más allá de lo esperado debido a la pandemia que condicionó todo cuanto habíamos previsto.

8. Bibliografía

BLANCO, J.; RODRÍGUEZ, F.; MARTÍNEZ, S., MARTÍNEZ, A.A.; ROLDÁN A., DIEZ, F.J.; LIZARRALDE, I.; CABRERA, M. 2017. Generación de un inventario forestal regional y una

cartografía de modelos de combustible para Castilla- La Mancha. 7º Congreso Forestal Español. Plasencia. 7CFE01-113.

FERNÁNDEZ-LANDA, A.; FERNÁNDEZ, J.; TOMÉ, J.L.; ALGEET, N.; GUILLÉN, M.L.; VALLEJO, R.; SANDOVAL, V.; MARCHAMALO, M. 2018. High resolution forest inventory of pure and mixed stands at regional level combining National Forest Inventory field plots, Landsat, and low density LiDAR, *Int J Remote Sens*.

GÓMEZ, C.; ALEJANDRO, P.; HERMOSILLA, T.; MONTES, F.; PASCUAL, C.; RUIZ, L.A.; ÁLVAREZ-TABOADA, F.; TANASE, M.; VALBUENA, R. 2019. Remote sensing for the Spanish forests in the 21st century: a review of advances, needs, and opportunities. *For Syst* 28 (1), eR001.

GONZÁLEZ-FERREIRO, E.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; MIRANDA D. 2012. Estimation of stand variables in *Pinus radiata* D. Don plantations using different LiDAR pulse densities. *Forestry*, 85: 281-292.

HOLBEN, B. N. (1986). Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International journal of remote sensing*, 7(11), 1417-1434.

HOLMGREN, J. 2004. Prediction of tree height, basal area and stem volume in forest stands using airborne laser scanning. *Scand J For Res* 19 (6): 543-553.

HUIJBOOM, N.;VAN DEN BROEK, T.A. 2011. Open data: an international comparison of strategies. *Eur J ePractique*, 12, pp.1-13

Natural Resources Institute Finland, 2015. Statistics: Ownership of forestland 2013 (No. 5/2015), Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus. Natural Resources Institute Finland, Helsinki, Finland (in Finnish).

NÆSSET, E. 2004. Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser. *Scand J For Res* 19 (2): 164-179.

NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. 2014. National Plan for Civil Earth Observation. Washington, DC, pp. 1-162

PWC FRANCE. 2019. Copernicus Market Report. European Commission. Pp. 1-164

RANTALA, S.; SWALLOW, B.; PALONIEMI, R.; RAITANEN, E. 2020. Governance of forests and governance of forest information: Interlinkages in the age of open and digital data. *For Policy Econ*, Volume 113, 102123. ISSN 1389-9341,

RODRIGUEZ, F.; FERNANDEZ-LANDA, A.; TOME, J. 2014. Resultados y reflexiones tras cinco años de inventario forestal con tecnología LiDAR. *Foresta* 61: 28-33.

TOMÉ, J.L.; ESTEBAN, J.; MARTÍN, S.; ESCAMOCHERO, I.; FERNÁNDEZ-LANDA, A. 2017. ForestMap, Online forest inventories using Murcia Regional Airborne LiDAR Data. XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. pp. 147-150. Murcia 3-7 octubre 2017.

TOMÉ MORÁN J.L., GARCÍA CASTILLO D., ESCAMOCHERO OSA I., ESTEBAN CAVA J., FERNÁNDEZ LANDA A., 2017. Forestmap: cómo generar un servicio de inventario forestal en internet a partir de un prototipo de I+D. Foresta 67: 40-47.