

An aerial photograph of a forest, showing a dense canopy of trees. A white crosshair marker is visible on one of the tree trunks in the lower right quadrant of the image. The text is overlaid on a white rectangular background in the upper center.

**Actas del  
Workshop sobre Teledetección  
Próxima Terrestre para  
Aplicaciones Forestales**

**Escuela Politécnica Superior de Ingeniería  
Universidade de Santiago de Compostela**

**Lugo - 2021**





Actas del  
Workshop sobre Teledetección  
Próxima Terrestre para  
Aplicaciones Forestales

Lugo - 1, 2 y 3 de septiembre de 2021

## Editores:

Molina Valero, Juan Alberto

Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFORES). Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidade de Santiago de Compostela.  
juanalberto.molina.valero@usc.es

Rodríguez Ruiz, Joel

Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFORES). Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidade de Santiago de Compostela.  
joel.ruiz@usc.es

Pérez Cruzado, César

Proyectos y Planificación (PROEPLA). Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Universidade de Santiago de Compostela.  
cesar.cruzado@usc.es

Martínez Calvo, Adela

Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFORES). Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidade de Santiago de Compostela.  
adela.martinez.calvo@usc.es

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería  
Universidade de Santiago de Compostela  
Benigno Ledo s/n, Campus Terra  
27002 Lugo, España

ISBN: 978-84-09-37465-6

Depósito Legal: C 17-2022

## Referencias de financiación:

Diputación de Lugo y Universidade de Santiago de Compostela: Convocatoria de axudas 2021 para a realización de actividades de investigación e/ou transferencia no ámbito do desenvolvemento rural no Campus de Lugo.

ÁLAVA INGENIEROS y GRAFINTA: patrocinio.

Proyectos y Planificación (PROEPLA) y Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFORES) de la Universidade de Santiago de Compostela: Consellería de Educación, Universidade e Formación Profesional de la Xunta de Galicia. Grupos de Referencia Competitiva: PROEPLA (GRC GI-1716, ED431C 2021/27) y UXAFORES (GRC GI-1837, ED431C 2018/07).

## Organiza:



## Colabora:



## Financia:



## Patrocina:



# Contenido

PRESENTACIÓN .....	7
AGRADECIMIENTOS .....	9
INTRODUCCIÓN .....	11
PROGRAMA .....	21
RESÚMENES .....	31
Clasificación automática de nubes de puntos terrestres en parcelas forestales .....	33
Un algoritmo para detección robusta de fustes en nubes obtenidas mediante SLAM basado en las leyes fundamentales de la mecánica clásica.....	35
Estudio del efecto de la complejidad de la masa forestal para distintos tamaños de parcela en la detección de árboles y estimación de sus diámetros en base a escaneos únicos de escáner láser terrestre (TLS) .....	37
Extracción de atributos de árbol individual y caracterización forestal a nivel de masa: TLS vs. SLAM .....	39
Sistemas innovadores en mediciones forestales en el País Vasco: proyecto GO Fagus...41	
Estimación automática de la rectitud e inclinación de los fustes en individuos de <i>Pinus pinaster</i> a partir de datos TLS (Terrestrial Laser Scanning).....	43
Comparación entre la determinación automática de diámetros y alturas de árboles con TLS y métodos de inventario tradicional .....	45
Aplicaciones fotogramétricas para el seguimiento de rodales maduros .....	47
Análisis comparativo de la estimación de variables de estructura forestal mediante datos de campo, TLS y UAV en individuos de <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	49
Sistemas LIDAR terrestres en aplicaciones forestales. Comparativa entre sistemas estáticos y dinámicos.....	51
Sistemas de mapeado móvil aplicados al inventariado forestal.....	53

Modelización de variables de rodal de interés forestal en base a métricas y variables obtenidas mediante Escáner Láser Terrestre (TLS) con el paquete de R FORTLS.....	55
Evaluación del uso del Escáner Láser Terrestre en inventario forestal a escala de monte. Un caso de estudio en base a la estimación de la biomasa arbórea .....	57
Modelos de estimación de existencias en las plantaciones con clones de <i>Populus × euroamericana</i> y <i>P. × interamericana</i> empleando datos de escáner láser terrestre.....	59
Caracterización de la distribución horizontal de biomasa en árboles individuales mediante TLS: aplicaciones para inventario forestal.....	61
Aspectos prácticos de la Utilización de ForeStereo para el inventario a escala monte ...	63
Estimación de las variables de sotobosque y del dosel de copas relacionadas con el riesgo de incendios a partir de datos de un único escaneo con TLS.....	65
Control de calidad de mediciones dasométricas mediante el uso de escáner laser terrestre (TLS) en el Inventario Forestal Continuo de Galicia.....	67
<b>MESA REDONDA.....</b>	<b>69</b>
Reflexiones de la mesa redonda.....	71
<b>TALLERES.....</b>	<b>77</b>
Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el dispositivo óptico ForeStereo.....	79
Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el Escáner Láser Terrestre (TLS) mediante el paquete de R FORTLS.....	80
Taller de fotogrametría digital. De imágenes a nubes de puntos y ortofotos: oportunidades para el diagnóstico y la gestión medioambiental.....	81
<b>SPONSORS .....</b>	<b>83</b>

# PRESENTACIÓN

Este libro contiene las actas del *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales* que tuvo lugar los días 1, 2 y 3 de septiembre de 2021 en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería del Campus Terra de la Universidade de Santiago de Compostela (Lugo, España). Este workshop tuvo como objetivo la puesta en común de resultados científicos y aplicaciones prácticas de estas tecnologías en el ámbito forestal, así como la práctica de aspectos operativos en la toma y análisis de datos. Para ello, constó de jornadas científico-técnicas con formato de congreso (híbrido presencial-telemático), sesiones prácticas de toma de datos en campo y de su posterior análisis y procesado en ordenador mediante la impartición de talleres (presencial), y de una mesa redonda de reflexión sobre el estado del arte de estas tecnologías en todos los ámbitos forestales implicados.

Este evento fue organizado conjuntamente por los grupos de investigación *GI-1716 Proyectos y Planificación* (PROEPLA) y *GI-1837 Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible* (UXAFORES) de la Universidade de Santiago de Compostela.

La celebración del workshop fue financiada por la Diputación de Lugo y la Universidade de Santiago de Compostela, a través de la *Convocatoria de axudas 2021 para a realización de actividades de investigación e/ou transferencia no ámbito do desenvolvemento rural no Campus de Lugo*, y por la Consellería de Educación, Universidade e Formación Profesional de la Xunta de Galicia que, mediante el Programa de Consolidación y Estructuración de Unidades de Investigación Competitivas, financia los grupos de referencia competitiva PROEPLA (GRC GI-1716, ED431C 2021/27) y UXAFORES (GRC GI-1837, ED431C 2018/07). Además, el evento fue patrocinado por las empresas ÁLAVA INGENIEROS y GRAFINTA, que han participado como sponsors vinculados a dos de las tecnologías de teledetección próxima terrestre objeto de la actividad: escáner láser terrestre (TLS) y localización simultánea y mapeo (SLAM), respectivamente.

En la organización del *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales* se contó con la colaboración del Campus Terra y la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de la Universidade de Santiago de Compostela, que proporcionaron los espacios en los que tuvieron lugar de forma presencial las distintas sesiones y talleres del workshop.

El comité organizador  
Lugo, 25 de noviembre de 2021

### **Comité Organizador**

González Ferreiro, Eduardo Manuel. Universidad de León.  
Guerra Hernández, Juan. 3edata.  
Lombardero Barrera, Diego. Universidade de Santiago de Compostela.  
López Álvarez, Óscar. Universidade de Santiago de Compostela.  
López Fernández, Mario. Universidade de Santiago de Compostela.  
Martínez Calvo, Adela. Universidade de Santiago de Compostela.  
Molina Valero, Juan Alberto. Universidade de Santiago de Compostela.  
Pérez Antelo, Almudena. Universidade de Santiago de Compostela.  
Pérez Cruzado, César. Universidade de Santiago de Compostela.  
Rodríguez González, Pablo. Universidad de León.  
Rodríguez Ruiz, Joel. Universidade de Santiago de Compostela.

### **Comité Científico**

Álvarez González, Juan Gabriel. Universidade de Santiago de Compostela.  
Cabo Gómez, Carlos. Swansea University - UK.  
González Ferreiro, Eduardo Manuel. Universidad de León.  
Manso González, Rubén. Forestry Commission Research Agency - UK.  
Martínez Calvo, Adela. Universidade de Santiago de Compostela.  
Molina Valero, Juan Alberto. Universidade de Santiago de Compostela.  
Montes Pita, Fernando. INIA - CSIC.  
Pérez Cruzado, César. Universidade de Santiago de Compostela.  
Rodríguez González, Pablo. Universidad de León.

## AGRADECIMIENTOS

El comité organizador desea agradecer a todos los asistentes su participación en el *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales*, especialmente a aquellos que participaron como integrantes del comité científico, ponentes en las sesiones de conferencias, miembros de la mesa redonda o responsables de los talleres impartidos, y cuya colaboración desinteresada ha hecho posible el éxito del evento a nivel científico.

La celebración de este workshop ha contado con el apoyo de los grupos de investigación PROEPLA y UXAFORES de la Universidade de Santiago de Compostela, que han colaborado en la organización y la difusión de toda la información y documentación relativa al evento.

El *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales* ha podido llevarse a cabo gracias a la financiación recibida en el marco de la *Convocatoria de axudas 2021 para a realización de actividades de investigación e/ou transferencia no ámbito do desenvolvemento rural no Campus de Lugo* de la Diputación de Lugo y la Universidade de Santiago de Compostela, y la colaboración de los grupos de referencia competitiva PROEPLA y UXAFORES financiados por la Consellería de Educación, Universidade e Formación Profesional de la Xunta de Galicia (ED431C 2021/27 y ED431C 2018/07).

Las empresas ÁLAVA INGENIEROS y GRAFINTA han cofinanciado también este evento como sponsors del mismo, además de participar activamente en la sesión práctica de toma de datos de campo con sus dispositivos de teledetección próxima terrestre (tecnologías TLS y SLAM, respectivamente).

Por último, el comité organizador da las gracias a la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería y al Campus Terra de la Universidade de Santiago de Compostela por su colaboración en la organización del Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales, proporcionando los espacios en los que se celebraron las distintas sesiones del evento de forma presencial.



# INTRODUCCIÓN

El uso de información capturada mediante sensores remotos se ha establecido como una de las técnicas de referencia para la caracterización y monitorización del estado de los bosques a múltiples escalas. La fuerte evolución sufrida por estas tecnologías durante los últimos años ha supuesto un aumento de la resolución espacial y temporal unida a una mayor cantidad y calidad de los datos obtenidos con estos sensores; permitiendo su uso en aplicaciones con cada vez mayor nivel de detalle y a un menor coste. Un ejemplo de ello son las técnicas de teledetección próxima terrestre, donde la captura de información del sensor se realiza desde el suelo y a unas distancias reducidas en relación al tamaño de los objetos a caracterizar. En la actualidad, las técnicas de teledetección lejana (aéreo transportadas y satelitales) gozan de un mayor grado de desarrollo que permite su uso operativo en numerosas aplicaciones forestales. Sin embargo, las técnicas terrestres se encuentran en un estado de desarrollo más incipiente, lo que limita en algunos casos su uso operativo y enfatiza el interés y la relevancia científica de los resultados y experiencias con estas técnicas para uso forestal.

El *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales* fue organizado con el objetivo de exponer los principales avances científico-técnicos de estas tecnologías para aplicaciones forestales. Concretamente, se encontraban dentro de su ámbito las técnicas basadas en sensores láser escáner terrestre (TLS) y de localización simultánea y mapeo (SLAM), así como dispositivos ópticos, térmicos y de otro tipo en los que la captura de datos se realice a nivel del suelo.

El workshop se celebró los días 1, 2 y 3 de septiembre de 2021 en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería del Campus Terra de la Universidad de Santiago de Compostela (Lugo, España). El evento constó de sesiones científico-técnicas con un formato híbrido presencial-telemático, en las que los participantes presentaron sus contribuciones mediante presentaciones orales, y sesiones prácticas de toma de datos en campo y de procesamiento y análisis de los mismos en ordenador con distintas tecnologías (TLS, SLAM, ForeStereo), las cuales fueron mayoritariamente en formato presencial. Además, las empresas ÁLAVA INGENIEROS y GRAFINTA, sponsors del workshop, presentaron a todos los asistentes los dispositivos de TLS y SLAM disponibles en sus respectivas carteras de productos, y mostraron su funcionamiento práctico durante la sesión de toma de datos.

En los siguientes apartados se describe brevemente el perfil de los participantes en el *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplica-*

*ciones Forestales*, y se presenta un breve resumen de algunos de los resultados más relevantes de dos encuestas que se distribuyeron entre ellos. La primera encuesta se realizó durante el workshop y estaba enfocada a valorar los conocimientos y la experiencia de los participantes en el uso de tecnologías de teledetección próxima terrestre en el ámbito forestal. Los resultados preliminares de este cuestionario se presentaron durante la mesa redonda celebrada el segundo día del evento y sirvieron como punto de partida para las distintas intervenciones que realizaron los participantes en la misma. La segunda encuesta se envió a los participantes tras el workshop con el objetivo de recopilar sus valoraciones y comentarios acerca del evento.

## **Participación**

El *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales* contó con la asistencia de **72 participantes**, entre asistentes presenciales y telemáticos de las distintas sesiones celebradas en el marco del evento. De ellos, 13 eran alumnos de alguna titulación universitaria (doctorado, grado o máster) o de FP.

En las sesiones de conferencias del workshop se presentaron **19 ponencias**, de las cuales 4 corrieron a cargo de conferenciantes invitados. Además, el acto inaugural y la mesa redonda, celebrados el primer y el segundo día del evento, respectivamente, contaron con la participación de 13 representantes de distintos agentes del sector forestal (universidades, empresas, Administración, otras organizaciones del ámbito forestal). Por otra parte, el workshop contó también con una sesión práctica de toma de datos en campo con tres dispositivos distintos (TLS, SLAM, ForeStereo), y con tres talleres formativos centrados en el procesado y análisis de datos registrados con ForeStereo, TLS y fotogrametría digital. La Figura 1 recoge la participación en cada una de las sesiones del evento, que fue de más de 50 asistentes para las sesiones de conferencias y de entre 15 y 20 asistentes para los talleres prácticos. En este sentido, debe tenerse en cuenta que a la sesión práctica de toma de datos en campo y a los talleres de ForeStereo y TLS únicamente fue posible asistir de forma presencial, mientras que para el resto de las sesiones la asistencia podía ser tanto presencial como telemática.

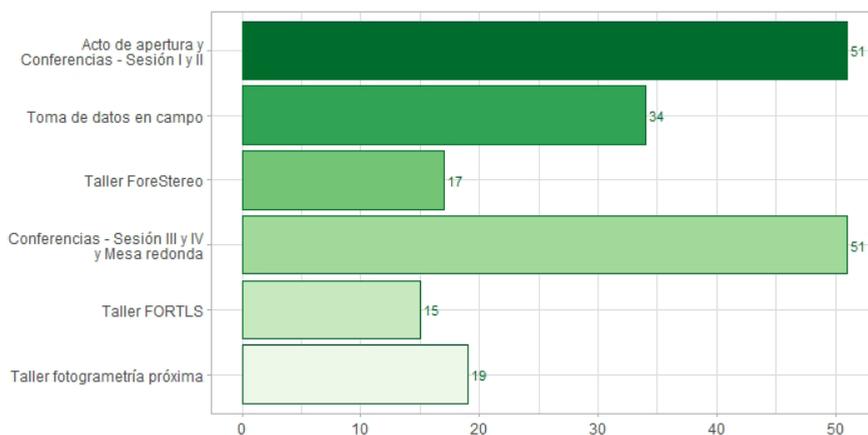


Figura 1. Participantes en cada sesión del workshop. Número total de participantes: 72.

La Figura 2 y la Figura 3 muestran la distribución de los participantes en el workshop según el tipo de entidad a la que pertenecían y su procedencia. Se observa que la mitad de los participantes pertenecían a universidades y otros centros de formación, mientras que la otra mitad pertenecían a empresas (30%), centros y organismos de I+D+i (12%), u otro tipo de entidades. En cuanto a su procedencia geográfica, uno de cada tres pertenecía a una entidad radicada en la provincia de Lugo, mientras que el resto provenían mayoritariamente bien de otras provincias gallegas (22%) bien del resto de España (39%). Solo un 6% de asistentes procedían de fuera de España.

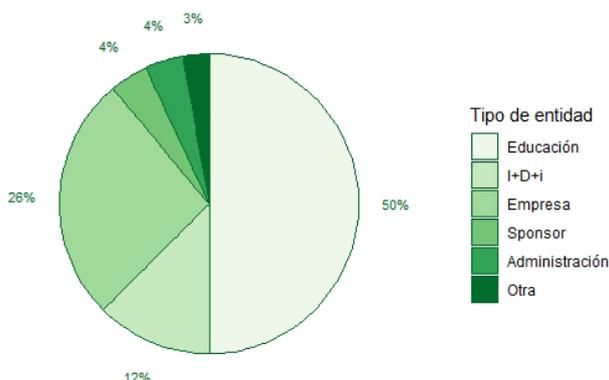


Figura 2. Tipo de entidad a la que pertenecían los participantes en el workshop. Número total de participantes: 72.

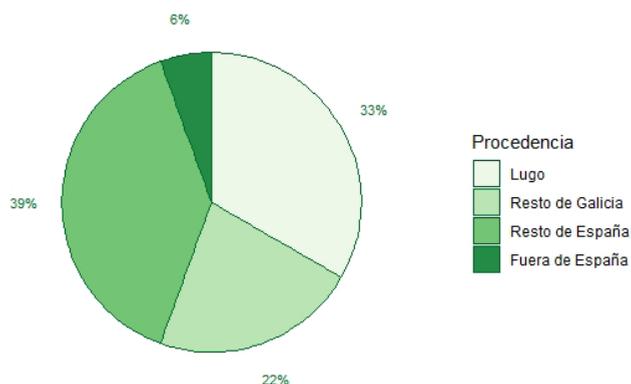


Figura 3. Procedencia de los participantes en el workshop.  
Número total de participantes: 72.

Por último, es importante destacar que entre los participantes en el workshop hubo **13 alumnos** de titulaciones universitarias o de FP afines al sector forestal. La mayoría de ellos se encontraba cursando estudios de doctorado, como puede verse en la Figura 4.

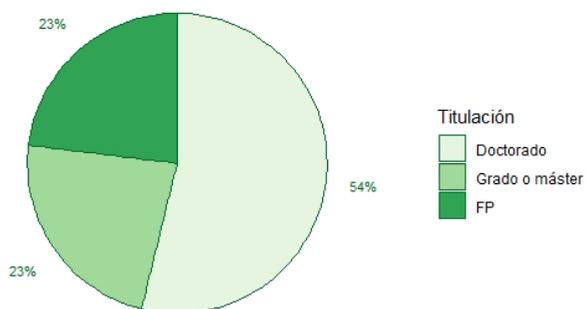


Figura 4. Titulación que están cursando los alumnos participantes en el workshop. Número total de alumnos: 13.

## Encuesta: experiencia y conocimientos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en una encuesta distribuida entre los participantes durante el evento. En ella se les preguntaba sobre distintos aspectos relacionados con su experiencia y conocimiento de las tecnologías de teledetección próxima terrestre, y su valoración de la utilidad y aplicabilidad de este tipo de dispositivos en su entorno de trabajo. La encuesta fue respondida por **20 participantes**.

En el primer bloque de la encuesta los participantes debían contestar a varias preguntas en base a su **experiencia y conocimiento** de las tecnologías de teledetección próxima terrestre (TLS, SLAM, ForeStereo, y dispositivos ópticos, térmicos o de otro tipo) y sus aplicaciones en el sector forestal previos al workshop. De entre los resultados obtenidos se pueden destacar los siguientes:

- El TLS resultó ser la tecnología más conocida, ya que el 65% de los participantes respondieron que les era conocida o muy conocida. Este porcentaje fue inferior en el caso del SLAM (40%), ForeStereo (35%) y los dispositivos ópticos, térmicos o de otro tipo (30%).
- En cuanto a la experiencia en la toma de datos con alguno de estos dispositivos, los encuestados declararon mayoritariamente no tener ninguna en el caso del SLAM (55%) y el ForeStereo (50%), mientras que para los dispositivos ópticos, térmicos o de otro tipo y el TLS se obtuvieron cifras inferiores (30% y 25%, respectivamente).
- Al ser preguntados por su experiencia en el procesamiento de datos registrados con estas tecnologías, de nuevo el ForeStereo y el SLAM resultaron ser los dispositivos en los que un mayor número de participantes respondieron no tener ninguna (70% y 55%, respectivamente), seguidos por los dispositivos ópticos, térmicos o de otro tipo (35%) y el TLS (15%).

Conocer la experiencia personal y/o el aprendizaje realizado por los participantes durante el workshop en cuanto al **uso forestal** de las tecnologías de teledetección próxima terrestre fue el objetivo del segundo bloque de preguntas de la encuesta. Las principales conclusiones derivadas de las respuestas de este bloque son:

- Las tecnologías de teledetección próxima terrestre se consideraban aplicables o muy aplicables en el ámbito forestal por la gran mayoría de los participantes que contestaron a la pregunta: 95% en el caso del SLAM, 88% en el de los dispositivos ópticos, térmicos o de otro tipo, 85% en el del TLS y 73% en el del ForeStereo.

- No obstante, la mitad de los encuestados se abstuvieron de valorar el grado de transferencia del SLAM, el ForeStereo y los dispositivos ópticos, térmicos o de otro tipo al sector forestal o contestaron que no estaban transferidos o lo estaban poco. Este porcentaje es del 35% en el caso del TLS.
- Los participantes se mostraron de acuerdo o totalmente de acuerdo en que los siguientes factores son limitantes para el uso operativo de las tecnologías de teledetección próxima terrestre en el sector forestal: el precio elevado de adquisición de los dispositivos (80%); la falta de personal con conocimientos para la toma y procesado de datos (80%); que no se realizan actividades de transferencia que lo faciliten, como formación, jornadas de difusión, etc. (80%); y que no se dispone de herramientas informáticas para el procesado de datos (65%). Además, indicaron dos posibles factores limitantes que no se recogían explícitamente en la encuesta: el tiempo empleado en la toma de datos, y que los equipos son muy pesados y poco operativos.
- En cuanto al grado de importancia de este tipo de tecnologías en el futuro, los encuestados las consideraban importantes o muy importantes en todas las áreas forestales especificadas en la encuesta: dasimetría e inventario forestal (95%), incendios forestales (95%), gestión forestal (90%), ordenación de montes (85%) y ecología forestal (80%).

Diez de los encuestados eran **alumnos de una titulación afín al sector forestal** (FP, grado, máster, doctorado, etc.) o lo habían sido en los últimos 5 años, por lo que se les preguntó sobre los contenidos relacionados con tecnologías de teledetección próxima terrestre impartidos en el plan de estudios de la titulación que estaban cursando o habían cursado. Del análisis de sus respuestas se concluye que:

- El 60% los encuestados consideraba que los contenidos sobre estas tecnologías en el plan de estudios eran pocos o ninguno. Además, todos creían que deberían incrementarse los contenidos sobre estos dispositivos en la titulación que estaban cursando o habían cursado.

Otro de los bloques de preguntas estaba dirigido a participantes que trabajasen en los sectores de la **Educación** (universidades, centros de formación, etc.) o de la **I+D+i** (centros de I+D, etc.), o lo hubiesen hecho en los últimos 5 años. Doce de los participantes que contestaron la encuesta pertenecían o habían pertenecido a dichos sectores, y los resultados más relevantes que se obtuvieron de sus respuestas se resumen a continuación:

- A la pregunta de si se impartían contenidos sobre tecnologías de teledetección próxima terrestre en las titulaciones académicas afines al sector forestal que conocían, la mitad de los encuestados respondieron no saberlo o indicaron que se impartían pocos o ninguno. Además, más del 80% pensaban que deberían incrementarse los contenidos sobre estas tecnologías en las titulaciones académicas afines al sector forestal.
- Más del 80% de los encuestados se encontraban trabajando de forma activa en alguna de línea de investigación relacionada con estas tecnologías, y todos ellos indicaron tener interés en iniciar y/o continuar su investigación en alguna línea relacionada con ellas.

La encuesta incluía también varias preguntas específicas para aquellos participantes que trabajaban en una **empresa** (ingenierías, consultoras, maderistas) u **organización del sector forestal** (asociaciones empresariales, colegios de ingenieros, etc.), o lo había hecho en los últimos 5 años. El resumen de las respuestas dadas por los 7 encuestados que cumplían con este perfil se recoge en los siguientes puntos:

- El 57% respondió que las tecnologías de teledetección próxima terrestre y sus aplicaciones eran conocidas o muy conocidas en su empresa o entre los miembros de su organización.
- Sin embargo, solo el 43% indicó que estas tecnologías eran utilizadas o muy utilizadas en su empresa o entre los miembros de su organización, aunque todos ellos creían que debería incrementarse su utilización.
- Por último, algo más del 70% pensaba que su empresa o los miembros de su organización estarían dispuestos a invertir en este tipo de dispositivos. El resto de encuestados optó por responder a esta cuestión marcando la opción no sabe / no contesta.

Finalmente, los 4 encuestados que indicaron ser miembro o representante de una entidad perteneciente a la Administración Pública con competencias en el sector forestal, o haberlo sido en los últimos 5 años, contestaron a varias preguntas adicionales de las que se concluye que:

- Las tecnologías de teledetección próxima terrestre y sus aplicaciones no eran desconocidas en su entidad.
- No obstante, todos consideraban que eran poco o solo algo utilizadas, y que debería incrementarse su utilización en los procesos administrativos que llevaba a cabo su entidad.

## Encuesta: satisfacción

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en una encuesta de satisfacción distribuida entre los participantes una vez finalizado el evento. En ella se les solicitaba su valoración sobre diversos aspectos relacionados con los contenidos científicos del workshop y con su organización, así como su nivel de satisfacción global y su interés en participar en actividades futuras con la misma temática. Esta encuesta fue respondida por **30 participantes**, de los cuales el 40% fueron ponentes en alguna de las sesiones de conferencias.

El primer bloque de la encuesta estaba dirigido a conocer la valoración que hacían los participantes del workshop desde el punto de vista científico. Los principales resultados obtenidos al analizar sus respuestas son los siguientes:

- En cuanto al grado de satisfacción con los contenidos y/o el alcance de las sesiones y talleres del workshop a los que ha asistido, la inmensa mayoría de encuestados que respondieron a la pregunta declararon sentirse muy satisfechos o satisfechos con todas las actividades realizadas durante el workshop: sesiones de conferencias (100%), taller FORTLS (100%), mesa redonda (96%), sesión práctica de toma de datos (95%), taller ForeStereo (90%) y taller fotogrametría próxima (85%).
- Los encuestados afirmaron estar totalmente de acuerdo o de acuerdo con que el workshop le había resultado provechoso para revisar el estado del arte a nivel científico (87%) y a nivel operativo (83%), adquirir conocimientos sobre la toma de datos (80%) y su procesado (76%), y establecer contactos y/o colaboraciones de cara al futuro (70%).

En cuanto a la organización del evento, se solicitó a los participantes que valorasen su grado de satisfacción en el segundo bloque de preguntas. Del análisis de sus respuestas se concluye lo siguiente:

- Más del 85% de los encuestados indicaron sentirse muy satisfechos o satisfechos con la organización del workshop.
- Los participantes que habían asistido a alguna sesión o taller del workshop en la modalidad presencial (83% de los encuestados) indicaron estar muy satisfechos o satisfechos con los espacios en los que se celebraron las sesiones de conferencias (100%) y los talleres (95%), con el catering (96%), y con el evento social organizado el primer día del evento (90%).
- Los participantes que indicaron haber asistido en la modalidad telemática a alguna sesión o taller del workshop (43% de los encuestados)

declararon estar totalmente de acuerdo o de acuerdo con que no tuvieron problemas para acceder de forma telemática a las sesiones (93%), las indicaciones recibidas para la asistencia telemática fueron claras y adecuadas (92%), la calidad de la imagen fue adecuada (85%), la calidad del sonido fue adecuada (54%) y no tuvieron problemas para enviar mensajes o hacer preguntas a través del chat (75%). Por la contra, destaca que el 38% de los encuestados declararon estar en desacuerdo o totalmente en desacuerdo con que la calidad del sonido era adecuada.

La encuesta se cerraba con un bloque de cuestiones relacionadas con la valoración global del evento y el interés en participar en ediciones futuras del mismo. Las respuestas recibidas se comentan a continuación:

- El 97% de los participantes que cubrieron la encuesta declararon estar muy satisfechos o satisfechos con el workshop.
- Todos los encuestados indicaron estar interesados en asistir o participar en el futuro en una nueva edición del evento.



# PROGRAMA



## Programación general

<b>01/09/2021</b>		
<b>Hora</b>	<b>Evento</b>	<b>Localización</b>
09:00 - 10:00	Registro y recogida de credenciales	Salón de actos (EPSE)
10:00 - 10:30	Acto de apertura	Salón de actos (EPSE)
10:30 - 11:45	Conferencias - Sesión I	Salón de actos (EPSE)
11:45 - 12:15	<b>Pausa café</b>	Junto al salón de actos (EPSE)
12:15 - 14:00	Conferencias - Sesión II	Salón de actos (EPSE)
14:00 - 15:45	<b>Comida</b>	
15:45 - 17:30	Toma de datos en campo	Carballeira (EPSE)
17:30 - 18:00	<b>Pausa café</b>	Junto al salón de actos (EPSE)
18:00 - 20:00	Taller ForeStereo	Aula e-Terra (Biblioteca Intercentros)
21:00 - 01:00	<b>Evento social</b>	El Santuario de Magnus (centro histórico)

<b>02/09/2021</b>		
<b>Hora</b>	<b>Evento</b>	<b>Localización</b>
09:00 - 10:00	Registro y recogida de credenciales	Salón de actos (EPSE)
10:00 - 11:45	Conferencias - Sesión III	Salón de actos (EPSE)
11:45 - 12:15	<b>Pausa café</b>	Junto al salón de actos (EPSE)
12:15 - 13:00	Conferencias - Sesión IV	Salón de actos (EPSE)
13:00 - 14:00	Mesa redonda	Salón de actos (EPSE)
14:00 - 16:00	<b>Comida</b>	
16:00 - 17:30	Taller FORTLS	Aula e-Terra (Biblioteca Intercentros)
17:45 - 18:15	<b>Pausa café</b>	Junto al salón de actos
18:15 - 20:00	Taller FORTLS	Aula e-Terra (Biblioteca Intercentros)

<b>03/09/2021</b>		
<b>Hora</b>	<b>Evento</b>	<b>Localización</b>
09:00 - 10:00	Registro y recogida de credenciales	Salón de actos (EPSE)
10:00 - 11:45	Taller fotogrametría próxima	Salón de actos (EPSE)
11:45 - 12:15	<b>Pausa café</b>	Junto al salón de actos (EPSE)
12:15 - 14:00	Taller fotogrametría próxima	Salón de actos (EPSE)

## Miércoles 1 de septiembre de 2021: conferencias y talleres

<b>01/09/2021</b>		
<b>Hora</b>	<b>Evento</b>	<b>Ponente</b>
10:00	Acto de apertura	Ver al final del programa del día
<b>Conferencias - Sesión I (Moderador: Juan Alberto Molina Valero)</b>		
10:30	Clasificación automática de nubes de puntos terrestres en parcelas forestales (Ponente invitado)	Carlos Cabo Gómez (Swansea University - UK)
10:50	Álava ingenieros - Riegl (Pitch comercial)	Sergio García Fernández
11:00	Un algoritmo para detección robusta de fustes en nubes obtenidas mediante SLAM basado en las leyes fundamentales de la mecánica clásica	Rubén Manso González (Forestry Commission Research Agency - UK)
11:15	Estudio del efecto de la complejidad de la masa forestal para distintos tamaños de parcela en la detección de árboles y estimación de sus diámetros en base a escaneos únicos de escáner láser terrestre (TLS)	Adela Martínez Calvo (Universidade de Santiago de Compostela)
11:30	Extracción de atributos de árbol individual y caracterización forestal a nivel de masa: TLS vs. SLAM	Ana Solares (Universidade de Vigo)
11:45	<b>Pausa café</b>	
<b>Conferencias - Sesión II (Moderadora: Adela Martínez Calvo)</b>		
12:15	Sistemas innovadores en mediciones forestales en el País Vasco: proyecto GO Fagus (Ponente invitado)	Alejandro Cantero Amiano (HAZI)
12:35	Estimación automática de la rectitud e inclinación de los fustes en individuos de <i>Pinus pinaster</i> a partir de datos TLS (Terrestrial Laser Scanning)	Covadonga Prendes Pérez (CETEMAS)
12:50	Comparación entre la determinación automática de diámetros y alturas de árboles con TLS y métodos de inventario tradicional	Anna Katharina Kletschka (Universidad de Oviedo)
13:05	Aplicaciones fotogramétricas para el seguimiento de rodales maduros	Jose Luis Tomé Morán (Agresta S. COOP.)

13:20	Análisis comparativo de la estimación de variables de estructura forestal mediante datos de campo, TLS y UAV en individuos de <i>Pinus halepensis</i> Mill.	Jesús Torralba (Universitat Politècnica de València)
13:35	Sistemas LIDAR terrestres en aplicaciones forestales. Comparativa entre sistemas estáticos y dinámicos.	David Cruz Josa (Grafinta S.A.)
14:00	<b>Comida</b>	
<b>Toma de datos en campo</b>		
15:45	Conceptos importantes para el muestreo basado en técnicas de teledetección próxima	César Pérez Cruzado (Universidade de Santiago de Compostela)
16:00	Toma de datos con Escáner Láser Terrestre (TLS)	Grupo Álava
16:30	Toma de datos con Localización Simultánea y Mapeo (SLAM)	Grafinta S.A.
17:00	Toma de datos con el dispositivo óptico ForeStereo	Fernando Montes e Isabel Aulló Maestro (INIA-CSIC)
17:30	<b>Pausa café</b>	
<b>Taller</b>		
18:00	Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el dispositivo óptico ForeStereo	Fernando Montes e Isabel Aulló Maestro (INIA-CSIC)

### Acto de apertura:

Montserrat Valcárcel Armesto. Vicerreitora de Coordinación del Campus de Lugo de la Universidade de Santiago de Compostela.

Jose Luis Chan Rodríguez. Director Xeral de Planificación e Ordenación Forestal de la Consellería do Medio Rural de la Xunta de Galicia.

Ulises Diéguez Aranda. Coordinador del Máster de Ingeniería de Montes de la Escuela Politécnica Superior de la Universidade de Santiago de Compostela.

César Pérez Cruzado. Coordinador del comité organizador del *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para aplicaciones Forestales*.

## Jueves 2 de septiembre de 2021: conferencias y taller

02/09/2021		
Hora	Evento	Ponente
<b>Conferencias - Sesión III (Moderador: Eduardo Manuel González Ferreiro)</b>		
10:00	Sistemas de mapeado móvil aplicados al inventariado forestal (Ponente invitado)	Pablo Rodríguez González (Universidad de León)
10:20	Análisis de tecnologías lidar aplicadas a trabajos forestales (Pitch comercial)	Paloma Mier (Grafinta S.A.)
10:30	Modelización de variables de rodal de interés forestal en base a métricas y variables obtenidas mediante Escáner Láser Terrestre (TLS) con el paquete de R FORTLS	Óscar López Álvarez (Universidad de Santiago de Compostela)
10:45	Evaluación del uso del Escáner Láser Terrestre en inventario forestal a escala de monte. Un primer caso de estudio en base a la estimación de la biomasa aérea	Juan Alberto Molina Valero (Universidade de Santiago de Compostela)
11:00	Modelos de estimación de existencias en las plantaciones con clones de <i>Populus × euroamericana</i> y <i>P. × interamericana</i> empleando datos de escáner láser terrestre	M. Flor Álvarez Taboada (Universidad de León) y Joaquín Garnica López (Bosques y Ríos)
11:15	Caracterización de la distribución horizontal de biomasa en árboles individuales mediante TLS: aplicaciones para inventario forestal	César Pérez Cruzado (Universidad de Santiago de Compostela)
11:45	<b>Pausa café</b>	

<b>Conferencias - Sesión IV (Moderador: Rubén Manso González)</b>		
12:15	Aspectos prácticos de la Utilización de ForeStereo para el inventario a escala monte (Ponente invitado)	Miguel Cabrera Bonet (Aranzada Gestión Forestal, S.L.P.)
12:30	Estimación de las variables de sotobosque y del dosel de copas relacionadas con el riesgo de incendios a partir de datos de un único escaneo con TLS	Cecilia Alonso Rego (Universidade de Santiago de Compostela)
12:45	Control de calidad de mediciones dasométricas mediante el uso de escáner laser terrestre (TLS) en el Inventario Forestal Continuo de Galicia	Joel Rodríguez Ruiz (Universidade de Santiago de Compostela)
13:00	Mesa redonda (Moderador: César Pérez Cruzado)	Ver al final del programa del día
14:00	<b>Comida</b>	
<b>Taller</b>		
16:00	Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el Escáner Láser Terrestre (TLS) mediante el paquete de R FORTLS	Juan Alberto Molina Valero, Adela Martínez Calvo y Óscar López Álvarez (Universidade de Santiago de Compostela)
17:45	<b>Pausa café</b>	
18:15	Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el Escáner Láser Terrestre (TLS) mediante el paquete de R FORTLS	Juan Alberto Molina Valero, Adela Martínez Calvo y Óscar López Álvarez (Universidade de Santiago de Compostela)

### **Mesa redonda:**

Jacobo Aboal Viñas. Subdirector General de Recursos Forestales. Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia.

Carlos Iglesias Dapena. Responsable de compras en pie y aprovechamientos forestales. FINSA.

David Payá Prada. Jefe de Planificación Forestal en la Dirección de Patrimonio Forestal. ENCE.

Juan Gabriel Álvarez González. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Universidade de Santiago de Compostela.

Juan Picos Martín. Director de la Escuela de Ingeniería Forestal. Universidade de Vigo.

Juan Daniel García Villabrille. Responsable de Inventario Forestal y Ordenación de Montes. Cerna Ingeniería y Asesoría Medioambiental.

José Luis Tomé Morán. Especialista en Inventario con LiDAR. Agresta.

José Fernando Enjamio Gándaras. Decano. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales de Galicia.

Andrés Osoro Corsino. Representante de alumnos del Grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural y del Grado en Ingeniería Agrícola y Agroalimentaria de la Universidad de Santiago de Compostela.

## Viernes 3 de septiembre de 2021: taller

03/09/2021		
Hora	Evento	Ponente
<b>Taller (telemático)</b>		
10:00	Taller de fotogrametría digital. De imágenes a nubes de puntos y ortofotos: oportunidades para el diagnóstico y la gestión medioambiental	Damià Vericat Querol (Universitat de Lleida)
11:45	<b>Pausa café</b>	
12:15	Taller de fotogrametría digital. De imágenes a nubes de puntos y ortofotos: oportunidades para el diagnóstico y la gestión medioambiental	Damià Vericat Querol (Universitat de Lleida)

# RESÚMENES



# Clasificación automática de nubes de puntos terrestres en parcelas forestales

Carlos Cabo<sup>1</sup>, Cristina Santin<sup>2</sup>, Stefan Doerr<sup>3</sup>, Celestino Ordóñez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Science and Engineering, Swansea University, UK, Wallace Building, Singleton Campus, SA2 8PP, Swansea, UK  
Email: Carloscabo.uniovi@gmail.com

<sup>2</sup>IMIB (CSIC-Uniova-CA), Edificio de Investigación, Campus de Mieres, 33600  
Email: c.santin@csic.es

<sup>3</sup>Geography Dep, Swansea University, UK, Wallace Building, Singleton Campus, SA2 8PP, Swansea, UK  
Email: s.doerr@swansea.ac.uk

<sup>4</sup>Dep. Explotación y Prospeccion de Minas, Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, 33600  
Email: cgalan.uniovi@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

El uso de nubes de escáneres láser terrestres para la caracterización e inventario de parcelas forestales se está extendiendo y diversificando rápidamente. En los últimos años han aparecido numerosos algoritmos para la automatización del procesado de las nubes de puntos forestales, y se han incorporado otras tecnologías de adquisición de datos: escáneres láser móviles personales y fotogrametría terrestre. La mayor parte de los esfuerzos están dirigidos a la automatización de inventarios forestales a nivel de parcela, de los que se obtienen parámetros básicos como diámetros normales y alturas. Sin embargo, aún queda mucho por hacer en caracterizaciones más complejas e inventarios de mayor detalle.

## MÉTODO

En este trabajo se han implementado una serie de algoritmos para la clasificación de nubes de puntos terrestres de parcelas forestales en cuatro categorías: troncos, ramas+hojas, matorral, y hierba. Estos algoritmos son el fruto del desarrollo y adaptación de algoritmos previos para la automatización de inventarios forestales de precisión, y comparten con ellos gran parte de los procesos iniciales.

## RESULTADOS

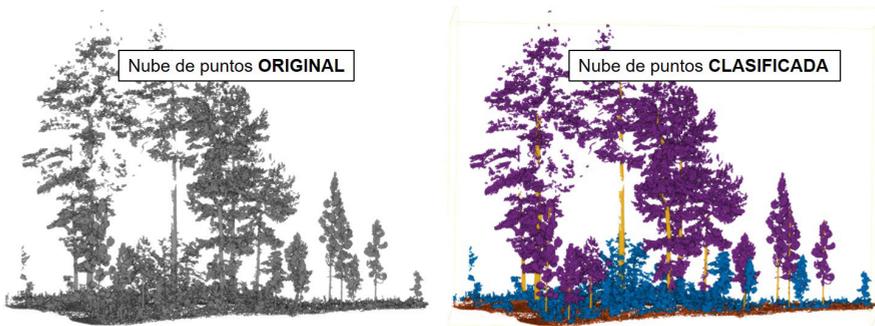
Los algoritmos han sido probados con datos de escáner láser estático, móvil personal y fotogrametría terrestre en parcelas con diferentes especies forestales, densidades y estructuras de vegetación. La precisión de la clasificación ha sido evaluada por comparación con la segmentación visual hecha por dos operadores distintos. Más del 90% de los puntos fueron correctamente clasificados en la mayor parte de los casos. Sin embargo, los porcentajes de acierto varían con la complejidad estructural de la vegetación y la densidad de puntos.

## CONCLUSIONES

Los algoritmos desarrollados en este proyecto clasifican automáticamente nubes de puntos terrestres en parcelas forestales. El resultado es una caracterización tridimensional y espacialmente explícita de las estructuras de la vegetación de la parcela. Los datos de salida de esta clasificación se pueden usar como entrada para modelos existentes de cuantificación de biomasa.

**PALABRAS CLAVE:** escáner láser estático; escáner móvil personal; fotogrametría terrestre; cuantificación biomasa; inventario forestal.

## RESUMEN GRÁFICO



# Un algoritmo para detección robusta de fustes en nubes obtenidas mediante SLAM basado en las leyes fundamentales de la mecánica clásica

Rubén Manso González<sup>1</sup>, Carlos Cabo Gómez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forest Research, the research agency of the Forestry Commission, Northern Research Station, Bush Campus, EH25 9SY, Roslin, Reino Unido.  
Email: ruben.manso@forestresearch.gov.uk

<sup>2</sup>Universidad de Oviedo.  
Email: carloscabo.uniovi@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Los escáners terrestres móviles que incorporan la tecnología SLAM son una alternativa eficaz a los tradicionales escáners fijos, al ser más apropiados en el sector de las operaciones e inventario forestal. Sin embargo, estos nuevos instrumentos son también menos precisos, lo que supone un reto a la hora de interpretar nubes de puntos de rodales con alta ramosidad en las secciones bajas de los fustes.

## OBJETIVOS

Presentar un nuevo algoritmo de detección de fustes de gran robustez en estas condiciones.

## MÉTODOS

El algoritmo está basado en la aplicación de las leyes de la mecánica newtoniana a nubes de puntos. Sucintamente, se asignan masas imaginarias a los puntos y se aplican dichas leyes físicas en iteraciones sucesivas en el plano XY. En cada iteración, el momento lineal de cada punto se actualiza, permitiéndose la fusión de puntos. El resultado es su agregación progresiva en las zonas de mayor masa por unidad de superficie, que normalmente corresponden a los fustes. El algoritmo converge cuando la posición de los puntos resultantes no varía significativamente. Estos puntos supermasivos finales idealmente representarían la localización de cada árbol. Al situarse suficientemente alejados de los otros, no ejercerían una acción gravitatoria significativa sobre los demás. El algoritmo se testó en nubes obtenidas con un es-

cáner móvil ZEB-REVO en plantaciones de *Picea sitchensis* en Escocia. Los árboles presentaban abundantes ramas bajas y su interpretación mediante otros algoritmos resultaba insatisfactoria.

## RESULTADOS

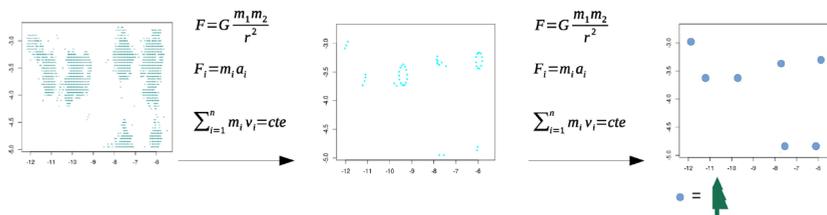
Nuestro algoritmo alcanza unos muy altos niveles de detección (>90%) comparado con otros métodos.

## CONCLUSIÓN

Este nuevo algoritmo representa una solución fiable para detectar pies en nubes de puntos SLAM en condiciones de alta ramosidad, al menos en plantaciones. El método puede incorporarse como un módulo preliminar en aproximaciones geométricas de modelización de fustes. También puede usarse como método de validación de otros algoritmos de detección.

**PALABRAS CLAVE:** Mecánica clásica newtoniana; Escáner terrestre móvil; Plantaciones.

## RESUMEN GRÁFICO



# **Estudio del efecto de la complejidad de la masa forestal para distintos tamaños de parcela en la detección de árboles y estimación de sus diámetros en base a escaneos únicos de escáner láser terrestre (TLS)**

Adela Martínez Calvo, Juan Alberto Molina Valero

Departamento de Enxeñaría Agroforestal, Universidade de Santiago de Compostela, Escola Politécnica Superior de Enxeñaría, Universidade de Santiago de Compostela. Rúa Benigno Ledo s/n, Campus Universitario. 27002, Lugo (España)  
Email: adela.martinez.calvo@usc.es; juanalberto.molina.valero@usc.es

## **INTRODUCCIÓN**

Para valorar el uso operacional del escáner láser terrestre (TLS) en aplicaciones forestales, resulta de especial interés evaluar en primer lugar el funcionamiento de los algoritmos disponibles para el procesado de las nubes de puntos TLS y la extracción de información relevante a nivel forestal.

## **OBJETIVOS**

En este trabajo se estudia el efecto de la complejidad de la masa forestal (densidad y clase diamétrica, presencia de matorral) y el tamaño de parcela en la detección de árboles y estimación de sus diámetros normales (DBH) mediante el paquete FORTLS de R.

## **MÉTODOS**

Se consideró una parcela de 12 ha, en la que predomina el *Pinus radiata*, y que presentaba varias clases naturales de edad y matorral muy espeso en ciertas zonas. Se seleccionó un conjunto de puntos de muestreo, situados en las intersecciones de una malla regular de 20 m x 20 m, en los que se realizó un escaneo único inicial con TLS y otro tras ser desbrozada la parcela. Ambos se procesaron con FORTLS, obteniéndose los árboles detectados en cada caso. Con esta información, y la recopilada en campo mediante inventario convencional, se simularon parcelas circulares con radio creciente hasta 40 m y

se estableció la correspondencia (o no) entre los árboles medidos en campo y los detectados.

## **RESULTADOS**

Los mayores niveles de detección correspondieron a las parcelas con menor densidad y mayor DBH medio, sobre todo para radios grandes. En cuanto al DBH, en general, el algoritmo lo infraestima. Los resultados mejoran notablemente usando los datos TLS tras el desbroce.

## **CONCLUSIÓN**

Tanto la complejidad de la masa como el tamaño de parcela afectan a la detección de árboles y la estimación de sus DBH. Estos resultados pueden ser un primer paso a la hora de establecer las fortalezas y debilidades del uso del TLS en aplicaciones forestales.

**PALABRAS CLAVE:** Escáner láser terrestre (TLS); FORTLS; detección de árboles; diámetro normal (DBH).

# **Extracción de atributos de árbol individual y caracterización forestal a nivel de masa: TLS vs. SLAM**

Ana Solares, Laura Alonso, Juan Picos, Julia Armesto

Universidad de Vigo. Forestry Engineering School, University of Vigo—A Xunqueira Campus, 36005 Pontevedra, Spain

Email: ana.solares@uvigo.es; laura.alonso.martinez@uvigo.es; jpicos@uvigo.es; julia@uvigo.es

## **INTRODUCCIÓN**

La realización de inventarios forestales es una de las principales necesidades del sector forestal, tanto para fines de gestión, explotación o conservación. Es esencial proporcionar conocimientos sobre la estructura y distribución de las masas forestales, y ser capaces de monitorear su evolución a lo largo del tiempo. Los dispositivos mecánicos y ópticos que se han utilizado tradicionalmente en inventarios forestales implican costosas campañas de campo y están limitados por las capacidades de observación del usuario. Desde la generalización de los sistemas LiDAR en ambientes profesionales, se ha mejorado significativamente la capacidad de analizar entornos forestales, proporcionando la posibilidad de digitalizar con precisión la estructura 3D de las masas. En los últimos 20 años, los sistemas LiDAR han evolucionado en rango, precisión, peso, portabilidad, protocolos de operación y técnicas de procesamiento de datos. También las plataformas de soporte han evolucionado, desde las aeronaves hasta sistemas de escaneo láser terrestre (TLS), UAV o los dispositivos portables más recientes. Las fortalezas de los TLS en aplicaciones forestales se han descrito frecuentemente en la literatura especializada. Sin embargo, pocos estudios han llevado a cabo el análisis de los sistemas LiDAR portables dada su novedad.

## **OBJETIVOS**

Este estudio tiene como objetivo comparar un escáner láser portable GEOSLAM con un escáner láser terrestre (TLS) FARO y con dispositivos tradicionales, en términos de portabilidad, uso en campo, eficiencia del tiempo de escaneo, precisión de nube de puntos y métricas forestales alcanzables.

## METODOLOGÍA

La adquisición de datos se llevó a cabo en una parcela de *Eucaliptus globulus* con un LiDAR portable de GEOSLAM, un TLS de FARO FOCUS y con herramientas tradicionales. Posteriormente se procesaron para obtener variables geométricas de árbol individual útiles en la caracterización de masas.

## RESULTADOS

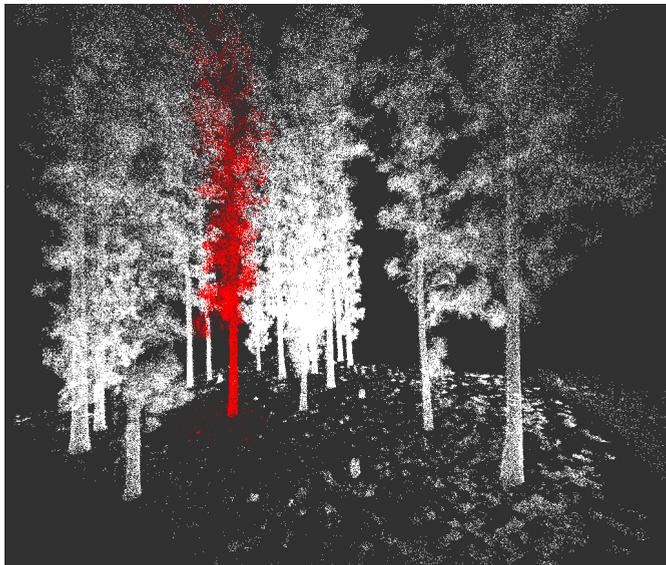
Se analizaron y compararon los resultados obtenidos sobre el tiempo de adquisición, la precisión de las variables medidas, la integridad de los datos y las limitaciones y fortalezas de cada método.

## CONCLUSIÓN

La comparación de los LiDAR portables con TLS y con dispositivos tradicionales puede ser útil para establecer cuáles son las aplicaciones en las que los sistemas portables pueden ser útiles.

**PALABRAS CLAVE:** TLS; LiDAR portable; nube de puntos; caracterización dendométrica.

## RESUMEN GRÁFICO



# Sistemas innovadores en mediciones forestales en el País Vasco: proyecto GO Fagus

Alejandro Cantero Amiano

HAZI. Granja Modelo de Arkaute s/n. 01192 Vitoria-Gasteiz

Email: [acantero@hazi.es](mailto:acantero@hazi.es)

## INTRODUCCIÓN

El proyecto innovador GO Fagus está permitiendo a HAZI aplicar diversas técnicas novedosas en las mediciones de los hayedos. A diversas fuentes de información ya disponibles desde hace años (teledetección satelital o por fotogrametría aérea, láser TLS, barrenas) se le están añadiendo nuevos sistemas (láseres de mano, fotogrametría terrestre, resistografía) para abaratar y aumentar el volumen de datos de campo.

## OBJETIVOS

- Testar nuevas herramientas y sistemas de toma de datos forestales
- Confrontar los resultados de estos métodos innovadores frente a otros métodos tradicionales
- Actualizar las ecuaciones de cubicación aplicables al haya
- Estimación en pie de la calidad de la madera
- Difundir los resultados entre socios y público en general

## MÉTODOS

Los socios del proyecto han medido durante 2021 diversas parcelas de campo en los hayedos del norte de España, tomando un gran volumen de datos de árboles seleccionados. Algunas de esas parcelas son sólo de medición, por lo que las hayas siguen en pie tras las mediciones para poder seguir su evolución en el futuro. Otras parcelas acaban con la corta y extracción de las hayas seleccionadas hasta un aserradero. Ello supone que las mediciones tomadas con sistemas innovadores para estimar en pie el volumen y la calidad de la madera de haya son contrastadas en las piezas de madera aserradas.

## RESULTADOS

Se ha seguido una metodología muy semejante a un anterior proyecto innovador, GO SIGCA-PiMa. Los primeros avances conseguidos son esperanzadores, aunque el citado proyecto GO Fagus aún está empezando y es pronto para presentar resultados finales.

## CONCLUSIÓN

Los proyectos de innovación desarrollados en un periodo de tiempo limitado y por medio de diversos socios bien coordinados suministran resultados de gran interés para el sector forestal. Una adecuada discusión y difusión de esos resultados pueden mejorar futuros inventarios y trabajos de investigación.

**PALABRAS CLAVE:** Haya; parcelas; fotogrametría; escaneo; cubicación.

## RESUMEN GRÁFICO



# **Estimación automática de la rectitud e inclinación de los fustes en individuos de *Pinus pinaster* a partir de datos TLS (Terrestrial Laser Scanning)**

Covadonga Prendes Pérez<sup>1</sup>, Carlos Cabo Gómez<sup>2</sup>, Celestino Ordoñez Galán<sup>3</sup>, Juan Majada Guijo<sup>1</sup>, Elena Canga Líbano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Tecnológico y Forestal de la Madera de Asturias (CETEMAS). Pumarabule s/n, 33936 Carbayín, Asturias, España  
Email: cprendes@cetemas.es; jmajada@cetemas.es; ecanga@cetemas.es

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Swansea. Singleton Campus. SA2 8PP, Swansea, Gales (Reino Unido).  
Email: carloscabo.uniovi@gmail.com

<sup>3</sup>Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Campus de Mieres. C/ Gonzalo Gutierrez Quiros s/n 33600.  
Email: ordonezcelestino@gmail.com

## **INTRODUCCIÓN**

La rectitud y la inclinación de los fustes, a pesar de su influencia en la calidad de la madera no son variables que se midan sistemáticamente en los inventarios tradicionales debido a la dificultad y subjetividad de su estimación.

## **OBJETIVO**

El objetivo de este estudio fue doble (i) desarrollar una metodología para medir la rectitud y la inclinación de forma automática a nivel de árbol individual, a partir de datos tomados con un escáner laser terrestre (TLS) (ii) comparar los resultados obtenidos con mediciones realizadas por métodos tradicionales (clasificación visual categórica que agrupa los árboles en clases según su grado de rectitud e inclinación).

## METODOLOGÍA

La metodología es aplicable a distintas tipologías de masa y especies, y se basa en dividir el tronco en una serie de secciones definidas por su centro y radio. A partir de ellas se calculan dos variables relacionadas con la rectitud (flecha máxima, sinuosidad) y el ángulo de inclinación del fuste con respecto a la vertical. En este estudio, la metodología se evaluó en una parcela de mejora genética de *Pinus pinaster* caracterizada por su gran variabilidad de caracteres morfológicos, y se compararon los resultados obtenidos, con métodos tradicionales.

## RESULTADOS

Los valores medios obtenidos fueron los siguientes: (a) rectitud definida por (i) flecha máxima:  $8.50 \text{ cm} \pm 0.05$  (ii) sinuosidad:  $1.003 \pm 0.018$  e (b) inclinación:  $85.96 \pm 2.61^\circ$ . Se ha demostrado que los métodos tradicionales tienen muchas deficiencias a la hora de medir la rectitud y la inclinación, con poca capacidad para discriminar entre individuos con características diferentes.

## CONCLUSIÓN

Nuestra metodología permite automatizar la estimación de la rectitud y la inclinación de los fustes a partir de nubes de puntos TLS. Esto solventa muchos de los problemas derivados del uso de técnicas categóricas de clasificación visual, aportando información objetiva y cuantificable numéricamente.

**PALABRAS CLAVE:** árbol individual; teledetección; rectitud; inclinación; metodología.

# Comparación entre la determinación automática de diámetros y alturas de árboles con TLS y métodos de inventario tradicional

Anna Katharina Kletschka<sup>1</sup>, Gil Gonzalez Rodriguez<sup>1</sup>, Carlos Cabo<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>INDUROT – Universidad de Oviedo. c/Gonzalo Gutierrez Quiros s/n – Mieres  
Email: anna.kletschka@outlook.com; gil@uniovi.es

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Swansea. Singleton Campus. SA2 8PP, Swansea, Gales (Reino Unido).  
Email: carloscabo.uniovi@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha popularizado el uso de escáneres láser terrestres para el inventario forestal de precisión. La unión y alineación de nubes de puntos de distintos escaneados y la extracción automática de elementos en estas nubes ha evolucionado enormemente. Sin embargo, la mayor parte de los algoritmos de referencia han sido desarrollados para su uso en entornos artificiales, mientras que los datos de parcelas forestales presentan una problemática y complejidad particulares. Por ello se requiere el uso y/o desarrollo de metodologías específicas para la explotación de nubes de puntos en entornos forestales, especialmente para inventarios de precisión.

## OBJETIVOS

En este trabajo se abordan estos dos aspectos de forma específica para entornos forestales: el corregistro o alineación de nubes, y la detección y medición de formas geométricas (detección de troncos y determinación de diámetros y alturas de árboles), utilizando dos algoritmos recientes para nubes inventario forestal.

## MÉTODOS

Los métodos se han evaluado en una plantación de *Pinus sylvestris* de 6000 m<sup>2</sup> en el norte de León. La parcela se ha medido siguiendo un esquema regular de 16 escaneados con un escáner Focus<sup>3D</sup> X 330, resultando 30 millones de puntos tras unión y filtrado de escaneados.

Se han comparado los datos obtenidos automáticamente con los algoritmos con las medidas de diámetros y alturas de inventario tradicional (forcípula e hipsómetro) de los 288 árboles presentes en la parcela.

## RESULTADOS

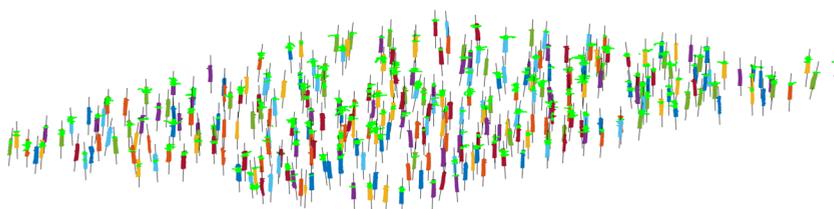
El algoritmo ha detectado un 99 % de los árboles. Ha determinado los diámetros (a 1,3 m sobre el suelo) y la altura de los árboles con una desviación media cuadrática respecto a las medidas tradicionales de 10 mm y 1,2 m respectivamente.

## CONCLUSIÓN

Para las condiciones de este estudio, las medidas tradicionales forestales son más competitivas que el uso del TLS, aunque tiene gran potencial y futuro.

**PALABRAS CLAVE:** TLS; Dasometría; Dendrometría.

## RESUMEN GRÁFICO



# Aplicaciones fotogramétricas para el seguimiento de rodales maduros

Jose Luis Tomé Morán, Jose Antonio Navarro, Pablo Ascasibar Allona

Agresta S. COOP. C/Duque de Fernán Nuñez nº 2 Piso 1º  
Email: jltome@agresta.org; janavarro@agresta.org; pascasibar@agresta.org

## INTRODUCCIÓN

En la última década, gracias al desarrollo de nuevos métodos fotogramétricos y de los vehículos aéreos no tripulados (UAV), ha crecido el interés por el uso de imágenes para la creación de modelos 3D densos a bajo coste. Si bien el uso de UAV en el sector forestal está más extendido, la fotogrametría digital terrestre y su combinación con la aérea están poco estudiada.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue testar el potencial de esta tecnología generando una serie de modelos 3D fotogramétricos para el seguimiento intensivo de detalle de un rodal maduro ubicado en la umbría de siete picos dentro del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

## MÉTODOS

Para la caracterización del dosel del rodal de 50x50 m se adquirieron imágenes aéreas mediante un vuelo UAV usando un cuadricóptero DJI Phantom 4, mientras que desde tierra se tomaron imágenes para levantar un subrodal de 20x20 m usando una cámara canon eos 6D. Todas las imágenes fueron procesadas con Agisoft Metashape para generar nubes de puntos y modelos 3D. Se tomaron puntos de control en terreno para la georreferenciación de ambos levantamientos combinando un GPS submétrico R2 y una estación total.

## RESULTADOS

Se obtuvieron modelos 3D escalados y georreferenciados del rodal completo, del subrodal de 20x20 y de individuos singulares que representan fielmente el estado del mismo en el momento de la adquisición de imágenes. Estos modelos se han compartido a través del visor Potree en la siguiente dirección de enlace: <http://valsain.agrestaweb.org/>

## CONCLUSIÓN

Este tipo de aplicaciones fotogramétricas no solo son de gran utilidad en la difusión utilizadas para dar acceso al gran público a zonas de reserva integral dentro de los espacios protegidos, sino que también pueden servir como base para analizar los cambios en estos ecosistemas comparando su evolución temporal en el tiempo.

**PALABRAS CLAVE:** Fotogrametría; Agisoft; Rodal Maduro; UAV.

## RESUMEN GRÁFICO



# **Análisis comparativo de la estimación de variables de estructura forestal mediante datos de campo, TLS y UAV en individuos de *Pinus halepensis* Mill.**

Jesús Torralba, Luis A. Ruiz, Juan Pedro Carbonell-Rivera, Pablo Crespo-Peremarch

Geo-Environmental Cartography and Remote Sensing Group (CGAT), Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España  
Email: jetorpe@upv.es; laruiz@cgf.upv.es; juacarri@upv.es; pabcrepe@upv.es

## **INTRODUCCIÓN**

Las nubes de puntos generadas con láser escáner terrestre (TLS) o a partir de imágenes adquiridas con drones (UAV) se vienen aplicando exitosamente en la estimación de parámetros forestales. A pesar de los últimos avances aún es difícil sustituir el inventariado tradicional en determinados entornos forestales.

## **OBJETIVOS**

Este estudio pretende investigar la sustitución de las mediciones de inventario tradicional por datos adquiridos con TLS y UAV.

## **MÉTODOS**

Se midió el diámetro normal (Dn) y altura de 43 *Pinus halepensis*, se tomaron 11 escaneos TLS distribuidos en zigzag en un área de 260x35 m, y se realizó un vuelo fotogramétrico mediante UAV adquiriendo 144 imágenes. Empleando las imágenes se generó una nube de puntos que fue registrada con la nube TLS, la cual previamente había sido georreferenciada. En la nube TLS se segmentaron automáticamente los árboles tomando esta referencia para segmentar la nube UAV. Igualmente, se automatizaron las mediciones de Dn y altura, comparándose posteriormente con las mediciones tradicionales.

## RESULTADOS

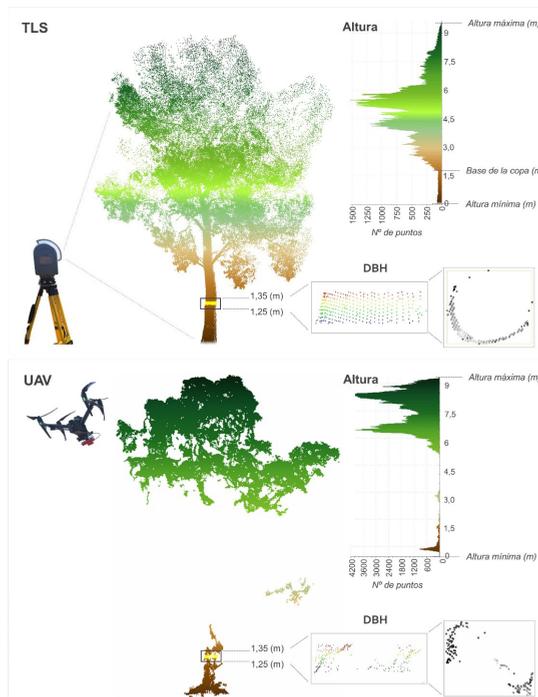
La segmentación identificó todos los árboles. El TLS estimó el Dn del 83,72% de los árboles con un  $R^2$  de 0,92 y un RMSE de 1,85 cm. La nula penetración de la nube UAV impidió determinar el Dn. Respecto a la altura, el  $R^2$  fue de 0,89 y 0,88 con un RMSE de 0,90 y 0,94 m para TLS y UAV, respectivamente. El bajo error de las alturas TLS fue debido a la baja densidad de árboles, previendo mayores errores en bosques densos.

## CONCLUSIÓN

Estos resultados sugieren que las nubes TLS y UAV pueden sustituir a las técnicas de inventariado tradicional en ciertos entornos. La oclusión generada por la estructura de las copas fue el factor principal que afectó a la precisión de las estimaciones de Dn. En futuros trabajos se fusionarán las perspectivas de observación terrestre y aérea.

**PALABRAS CLAVE:** Láser Escáner Terrestre; nube de puntos; inventario forestal; altura; diámetro normal (Dn).

## RESUMEN GRÁFICO



# Sistemas LIDAR terrestres en aplicaciones forestales. Comparativa entre sistemas estáticos y dinámicos

David Cruz Josa, Paloma Mier Gutiérrez  
GRAFINTA S.A. Av. Filipinas, 46. 28003 Madrid  
Email: david@grafinta.com; paloma@grafinta.com

## INTRODUCCIÓN

Se realiza un inventario forestal empleando tecnologías LIDAR: Sistemas estático LIDAR (TLS en inglés) y sistemas LIDAR dinámicos con tecnología SLAM.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo ha sido identificar las ventajas e inconvenientes de ambas tecnologías en la elaboración de inventarios forestales.

## MÉTODO

Sobre una única parcela de árboles de la especie *Pinus Pinaster* se realizó un levantamiento con ambos sistemas LIDAR con el objetivo de determinar variables dendométricas de interés forestal: altura y ancho del tronco, y cobertura vegetal. También se capturaron imágenes de los árboles. Posteriormente los datos se analizaron con software de segmentación y clasificación obteniéndose de forma automática a partir de la nube de puntos un listado Excel con los valores dasométricos de la parcela, así como la superficie y la coordenada de cada árbol.

## RESULTADOS

Se compararon ambas observaciones entre sí. En el escaneado estático con el TLS se realizaron 125 tomas de 2,5 min/toma lo que arroja un total de 5,2 Horas. El procesado de los datos requirió 2 horas lo que hace un total de 7,2 Horas. La precisión media de los puntos Lidar en estático es de 2mm. En lo que se refiere al escaneado dinámico con tecnología Slam, los datos

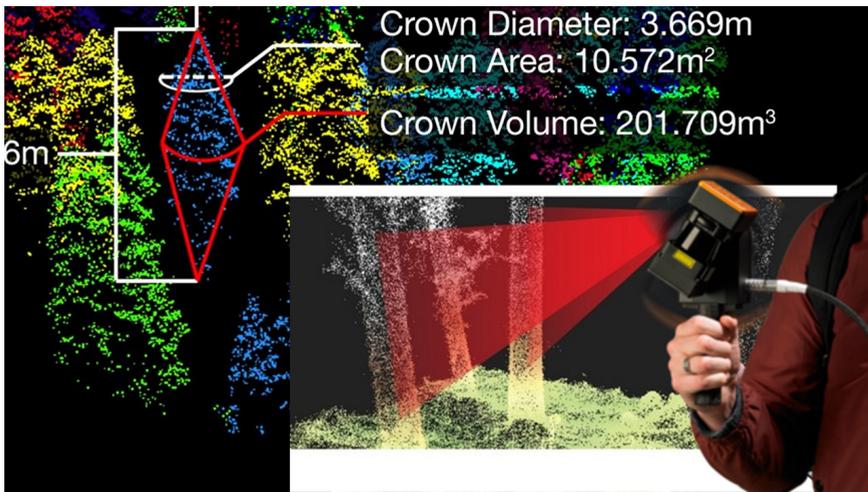
se tomaron en 15 minutos y el procesado de los datos llevo 30 minutos. El resultado global es de 45 minutos. La precisión media es de 2cm.

## CONCLUSIÓN

Los sistemas SLAM, proporcionan una metodología más acorde con el desplazamiento a través de masas forestales reduciendo los tiempos de captura y haciendo posible trabajar entre masas densas llenas de monte bajo. Se reducen las precisiones frente a las metodologías basadas en escaneados estáticos con TLS, pero se mantienen dentro de las tolerancias exigidas en los inventarios forestales aportando una información mucho más rigurosa.

**PALABRAS CLAVE:** LIDAR; SLAM; Inventario Forestal; TLS; Segmentación.

## RESUMEN GRÁFICO



# Sistemas de mapeado móvil aplicados al inventariado forestal

Pablo Rodríguez González, Eduardo Manuel González Ferreiro

Escuela superior y técnica de ingenieros de minas. Universidad de León. Campus Universitario de Ponferrada, Avda. de Astorga s/n, 24401 Ponferrada (León)

Email: p.rodriguez@unileon.es; egonf@unileon.es

## INTRODUCCIÓN

El inventario de la situación actual de un bosque, el seguimiento de su evolución pasada y la predicción de su más probable evolución futura, son elementos fundamentales para una buena gestión y consideración de los servicios ecosistémicos generados. Con el desarrollo de las técnicas geomáticas y las tecnologías de teledetección próxima, se ha optimizado la estimación de las variables forestales, en términos de precisión y eficiencia, en comparación con los inventarios forestales tradicionales. La aparición de los sistemas de mapeado portátil (PMMS – *Portable Mobile Mapping System*) permiten la adquisición de información 3D en movimiento en entornos complejos (p. ej. bajo el dosel del bosque), tanto en términos de oclusiones como de recepción de la señal GNSS.

## OBJETIVOS

El objetivo es ofrecer una evaluación de los PMMS aplicados a los entornos forestales, para destacar las potencialidades y los retos de esta tecnología geomática. Se presenta una visión general de los estudios más recientes que emplean dichos sistemas para la extracción de variables forestales.

## MÉTODOS

Se realiza una evaluación cualitativa de los PMMS en las aplicaciones forestales, comparada con los sistemas láser estáticos y de mapeado móvil convencional. La evaluación se basa en las especificaciones técnicas de los sensores y en los parámetros cualitativos, de forma similar a otras evaluaciones de idoneidad.



# Modelización de variables de rodal de interés forestal en base a métricas y variables obtenidas mediante Escáner Láser Terrestre (TLS) con el paquete de R FORTLS

Óscar López Álvarez<sup>1</sup>, Juan Alberto Molina Valero<sup>1</sup>, Adela Martínez Calvo<sup>1</sup>, César Pérez Cruzado<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Campus Terra. Universidade de Santiago de Compostela (Lugo).

Email: oscarlopez\_96@hotmail.com; juanalberto.molina.valero@usc.es; adela.martinez.calvo@usc.es

<sup>2</sup>Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo  
Email: cesar.cruzado@usc.es

## INTRODUCCIÓN

La estimación de las existencias de un monte se lleva a cabo mediante la realización de un inventario forestal (IF), normalmente basado en mediciones de campo. Con la intención de mejorar ciertos aspectos del IF, se introdujo el escáner láser terrestre o TLS (Terrestrial laser scanner) por su alto potencial.

## OBJETIVOS

Explorar el potencial de las nubes de puntos generadas con el TLS en escaneos únicos para la predicción de las principales variables de rodal estimadas en IF utilizando métricas y variables obtenidas mediante FORTLS, un paquete de R diseñado para el procesado automático de nubes de puntos de escaneos únicos TLS con fines forestales.

## MÉTODOS

Los datos experimentales se obtuvieron de una parcela de 5.25 ha poblada principalmente por pino marítimo e insigne. Se estableció un muestreo sistemático basado en una malla cuadrada desde cuyas intersecciones se realizaron escaneos únicos. Posteriormente, se exploró el potencial de las métricas y variables para modelizar variables de rodal, tales como número de pies ( $N$ ), diámetro medio aritmético y dominante ( $\bar{d}$ ,  $d_0$ ), altura media

aritmética y dominante ( $\bar{h}$ ,  $H_0$ ), diámetro medio cuadrático ( $d_g$ ), área basimétrica ( $G$ ), volumen ( $V$ ) y biomasa ( $W$ ). La exploración de dicha relación se realizó mediante el ajuste de modelos de regresión paramétricos, utilizando linealizaciones Box-Cox y métodos de selección de variables de pasos sucesivos (*Stepwise regression*).

## RESULTADOS

Se ha obtenido que para  $\bar{d}$ ,  $d_0$ ,  $\bar{h}$ ,  $H_0$  y  $d_g$  se han ajustado buenos modelos, ya que se obtienen estadísticos de bondad del ajuste altos ( $R^2$  entre 0.96 y 0.88). Por el contrario, para  $N$ ,  $G$ ,  $V$  y  $W$  los modelos ajustados no mostraron buenos estadísticos ( $R^2$  entre 0.28 y 0.77).

## CONCLUSIÓN

FORTLS puede considerarse una herramienta adecuada para la estimación de  $\bar{d}$ ,  $d_0$ ,  $\bar{h}$ ,  $H_0$  y  $d_g$  asistida por modelos en el tipo de masas estudiadas en este trabajo.

**PALABRAS CLAVE:** Inventario Forestal; LiDAR; teledetección próxima terrestre; modelización; Software R.

# Evaluación del uso del Escáner Láser Terrestre en inventario forestal a escala de monte. Un caso de estudio en base a la estimación de la biomasa arbórea

Juan Alberto Molina-Valero<sup>1</sup>, Óscar López Álvarez<sup>1</sup>, Adela Martínez-Calvo<sup>1</sup>, César Pérez-Cruzado<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidade de Santiago de Compostela. Rúa Benigno Ledo s/n, Campus Terra. 27002, Lugo  
Email: juanalberto.molina.valero@usc.es; oscarlopez\_96@hotmail.com; adela.martinez.calvo@usc.es

<sup>2</sup>Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo  
Email: cesar.cruzado@usc.es

## INTRODUCCIÓN

El Escáner Láser Terrestre (TLS) es un dispositivo fácilmente portable que permite representar el entorno próximo de una forma rápida, automática y con una alta precisión; lo cual lo convierte en una de las herramientas con mayor potencial para mejorar las metodologías convencionales de inventario forestal (IF).

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo ha sido comparar los errores cometidos en la estimación de la biomasa arbórea entre técnicas de inferencia estadística convencional (muestreo sistemático) y asistida por modelos mediante el uso de información auxiliar generada con TLS.

## MÉTODOS

Para llevar a cabo este trabajo se utilizó una parcela de 12 ha completamente inventariada perteneciente a una masa dominada por *Pinus radiata*. En ella se estableció un muestreo sistemático en base a una malla regular de 20 m de lado, desde cuyas intersecciones se realizaron escaneos únicos con TLS y se simularon parcelas de 15 m de radio. Los datos de TLS fueron procesados

con el paquete de R FORTLS, el cual permitió obtener métricas y variables que fueron empleadas en el ajuste de los modelos predictivos utilizados en la inferencia asistida por modelos. Para ambas metodologías se redujo la intensidad de muestreo de forma progresiva y se calculó el error estándar.

## **RESULTADOS**

El error estándar siempre fue mayor con las metodologías basadas en muestreos sistemáticos. Este además sufrió un incremento exponencial a medida que se redujo la intensidad de muestreo, mientras que para las metodologías asistidas por modelos apenas aumentó.

## **CONCLUSIÓN**

La estimación de la biomasa a escala de monte y para este caso de estudio, ha resultado ser más exacta para un inventario asistido por modelos en base información auxiliar generada con TLS. Los resultados aquí mostrados contribuyen a avanzar en el conocimiento que pueda consolidar al TLS como una herramienta operativa para su uso en IF.

**PALABRAS CLAVE:** FORTLS; LiDAR; inferencia asistida por modelos; métodos de masa; escaneo único.

# Modelos de estimación de existencias en las plantaciones con clones de *Populus* × *euroamericana* y *P.* × *interamericana* empleando datos de escáner láser terrestre

M. Flor Álvarez Taboada<sup>1</sup>, Fernando Castedo Dorado<sup>1</sup>, Eduardo González Ferreiro<sup>1</sup>, Pablo Rodríguez González<sup>1</sup>, Joaquín Garnica López<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal. GEOINCA GI-202. Universidad de León. Avd. de Astorga sn 24400 Ponferrada (León)  
Email: flor.alvarez@unileon.es; fcasd@unileon.es; egonf@unileon.es; p.rodriguez@unileon.es

<sup>2</sup>Bosques y Ríos SLU. Parque San Miguel, nº 10, 26007, Logroño, La Rioja  
Email: Joaquin.garnica@bosquesyrios.com

## INTRODUCCIÓN

La mayor parte de las choperas en España pertenecen a propietarios privados. Estos gestores necesitan modelos sencillos para estimar el volumen producido por las mismas. Tradicionalmente, la elaboración de estos modelos se llevaba a cabo usando datos obtenidos mediante muestreos destructivos. La aparición de los escáneres láser terrestres (*Terrestrial Laser Scanner*, TLS) permite hacer estos inventarios de forma rápida y no destructiva.

## OBJETIVOS

Elaborar una herramienta de cubicación a partir de mediciones TLS que permita a los propietarios estimar, de forma precisa y operativa, las existencias de madera para los clones de mayor interés comercial en Castilla y León ('I-214', 'MC', 'Raspalje', 'Unal' y 'Beaupre').

## MÉTODOS

Para el ajuste y validación de los modelos de estimación de existencias se han establecido 36 parcelas en campo, con edades entre 7 y 17 años, donde se han escaneado con TLS y medido las circunferencias normales de 256 pies. A partir de la nube de puntos depurada se han obtenido las secciones (diámetros) en tramos de 1 m para cada pie. Para determinar la exactitud del TLS en estas estimaciones se han apeado 2 pies de cada clon y se han medido

con cinta las secciones en los mismos tramos. Finalmente, se han ajustado funciones de perfil y modelos de estimación de volumen total y comercial para cada uno de los clones.

## **RESULTADOS**

Los resultados muestran errores inferiores al 3 % en la estimación de diámetros a diferentes alturas, con diferentes valores según el clon analizado.

## **CONCLUSIÓN**

Este método permite obtener funciones de perfil y de estimación de volúmenes comerciales de forma precisa mediante inventarios no destructivos. Este aspecto es muy relevante en choperas, puesto que permite una sencilla actualización de estos modelos para los nuevos clones que vayan testándose, sin tener que esperar a la edad de corta.

**PALABRAS CLAVE:** TLS; chopo; volumen; funciones de perfil; inventario no-destructivo.

# Caracterización de la distribución horizontal de biomasa en árboles individuales mediante TLS: aplicaciones para inventario forestal

César Pérez Cruzado<sup>1</sup>, Nils Nölke; Lutz Fehrmann<sup>2</sup>, Juan Gabriel Álvarez González<sup>3</sup>, Paul Magdon<sup>2</sup>, Steen Magnussen<sup>4</sup>, Christoph Kleinn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo  
Email: cesar.cruzado@usc.es

<sup>2</sup>Chair of Forest Inventory and Remote Sensing. Georg-August Universität Göttingen. Büsgenweg 5 37077 Göttingen (Alemania)  
Email: nnolke@gwdg.de; lfehrma@gwdg.de; pmagdon@gwdg.de; ckleinn@gwdg.de

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo  
Email: juangabriel.alvarez@usc.es

<sup>4</sup>Canadian Forest Service, Natural Resources Canada. Victoria, BC V8Z 1M5 (Canada)  
Email: steen.magnussen@nrcan.gc.ca

## INTRODUCCIÓN

A efectos de muestreo la biomasa de árbol individual se ha venido considerando localizada en la posición adimensional del eje del árbol. Sin embargo, esta variable se distribuye de forma continua, sin que a día de hoy se hayan desarrollado modelos completos de distribución horizontal de biomasa (HBD) ni se haya estudiado el efecto de esta consideración sobre el desempeño del muestreo.

## OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son evaluar: 1) el desempeño del TLS para la caracterización de la HBD, y 2) el efecto de la consideración de la biomasa como una variable continua o puntual sobre el desempeño del muestreo.

## MÉTODOS

Se muestrearon destructivamente 23 árboles de haya (17 escaneados con TLS) para caracterizar empíricamente la HBD de ramas. Se han aplicado los modelos de HBD en una parcela de 2 ha con censo completo localizada en Göttingen (Alemania) y se han simulado distintos diseños de parcela para las dos hipótesis consideradas en cuanto a HBD. Finalmente, se ha evaluado su desempeño para el muestreo de biomasa a nivel de rodal.

## RESULTADOS

La HBD empírica de ramas se ha modelizado mediante modelos habituales en el ajuste de funciones de perfil, debido a la similitud en la forma. Se ha desarrollado un índice basado en datos TLS con una elevada similitud con la distribución empírica de HBD de ramas. Las simulaciones en la parcela completa muestran que la consideración de la biomasa como una variable continua permite reducir el tamaño de muestra con respecto a la consideración puntual en 10.4-27.1% para un error objetivo del 5%, dependiendo del diseño de parcela.

## CONCLUSIÓN

El TLS ha mostrado un buen desempeño para la caracterización de la HBD de árbol individual. La consideración de la biomasa como una variable continua reduce los errores de muestreo de biomasa a nivel de rodal.

**PALABRAS CLAVE:** Superficie de muestreo; error de muestreo; monitorización; diseño de parcela.

# Aspectos prácticos de la Utilización de ForeStereo para el inventario a escala monte

Miguel Cabrera Bonet<sup>1</sup>, Fernando Montes Pita<sup>2</sup>, Juan Del Barrio Markaida<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Aranzada Gestión Forestal, S.L.P. C/Benjamín, 27, 28039 – Madrid  
Email: mcabrera@aranzadagf.com

<sup>2</sup>Centro de Investigación Forestal (INIA, CSIC), Ctra. De la Coruña km 7,5, 28040 Madrid.  
Email: fmontes@inia.es

<sup>3</sup>ZUMAIN Ingenieros, S.L.  
Email: jbarrio@zumain.es

## INTRODUCCIÓN

Se presentan aspectos prácticos del uso del ForeStereo tanto por su utilización en campo, como en gabinete. Se analiza el caso particular del proceso de datos para el inventario de los montes de Valsáin.

## OBJETIVOS

Analizar las funcionalidades del ForeStereo para comprobar su utilidad para los inventarios para la elaboración de instrumentos de planificación forestal.

## MÉTODOS

Con el uso del ForeStereo, (dispositivo para la medición estereoscópica del arbolado de una parcela a partir del análisis de dos imágenes hemisféricas cenitales), se ha realizado un inventario (muestreo sistemático con parcelas situadas en una malla cuadrada de 200 m x 200 m) sobre los 13 estratos definidos para los montes de Valsáin. Se midió una submuestra del 12% de las parcelas del inventario simultáneamente con forcípula y ForeStereo, para calibrar los datos del inventario medidos con ForeStereo y determinar qué proceso de datos es el que mejor se ajusta a cada estrato, en función de la corrección o no de oclusiones, y con diferentes radios de parcelas.

## RESULTADOS

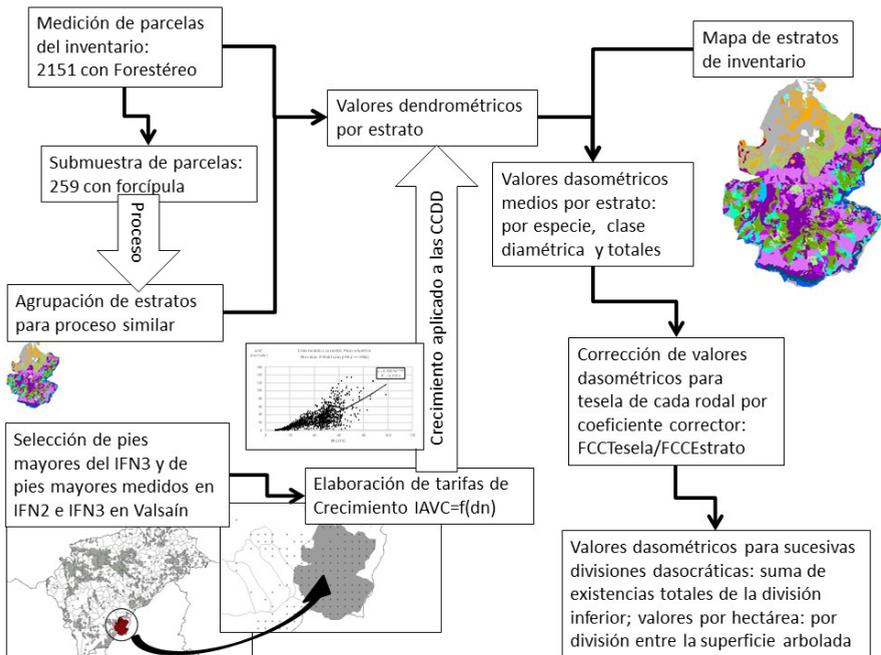
Para cada estrato, para las parcelas medidas simultáneamente con ForeStereo y con forcípula, se han realizado, por tanto, 28 procesos de datos, para determinar el mejor procedimiento de inventario para el estrato. También se ha empleado en determinados casos una tarifa de cubicación propia en lugar de la cubicación que ofrece el propio programa del ForeStereo.

## CONCLUSIÓN

Los resultados del inventario son similares a cualquier otro procedimiento de inventario por muestreo; la ventaja del ForeStereo sobre el procedimiento de inventario tradicional con forcípula es el incremento del rendimiento de los trabajos de campo entre un 33% y un 66%.

**PALABRAS CLAVE:** ForeStereo; inventario; muestreo sistemático.

## RESUMEN GRÁFICO



# **Estimación de las variables de sotobosque y del dosel de copas relacionadas con el riesgo de incendios a partir de datos de un único escaneo con TLS**

Cecilia Alonso Rego<sup>1</sup>, Stéfano Arellano-Pérez<sup>1</sup>, Juan Alberto Molina-Valero<sup>1</sup>, Adela Martínez-Calvo<sup>1</sup>, César Pérez-Cruzado<sup>2</sup>, Fernando Castedo-Dorado<sup>3</sup>, Juan Gabriel Álvarez-González<sup>1</sup>, Ana Daría Ruiz-González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFORES), Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidade de Santiago de Compostela. Benigno Ledo s/n, Campus Terra, 27002 Lugo, España.  
Email: c.alonso.rego@usc.es; stefano.arellano@usc.es; juanalberto.molina.valero@usc.es; adela.martinez.calvo@usc.es; juangabriel.alvarez@usc.es; anadaria.ruiz@usc.es

<sup>2</sup>Proyectos y Planificación (PROEPLA), Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidade de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Benigno Ledo s/n, Campus Terra, 27002 Lugo, España.  
Email: cesar.cruzado@usc.es

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Universidad de León. Campus de Ponferrada, 24401 Ponferrada, España.  
Email: fcasd@unileon.es

## **INTRODUCCIÓN**

Los incendios están entre las perturbaciones más destructivas de los bosques, causando importantes daños económicos y ecológicos. Las características estructurales y la carga de los combustibles del sotobosque y del dosel de copas afectan al comportamiento del fuego, regulando su velocidad de propagación, la intensidad lineal o la longitud de llama.

## **OBJETIVOS**

Por tanto, caracterizar con precisión estos combustibles es esencial para obtener predicciones fiables de los simuladores de comportamiento del fuego que sirvan de apoyo en las decisiones de gestión del combustible y/o para predecir el peligro de incendio.

## MÉTODOS

Los datos provienen de una red de ensayo de claras con 102 parcelas en rodales de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* en el Noroeste peninsular. En cada parcela se inventarió la carga de combustible de sotobosque y de dosel y se estimaron las principales variables relacionadas con el riesgo de incendio: carga de combustible de sotobosque (SFL), distancia vertical entre estratos de combustible de sotobosque y copa (FSG), altura del sotobosque ( $\bar{h}_{\text{matorral}}$ ), altura media del rodal ( $\bar{h}$ ), altura de la base del dosel de copas (CBH) y densidad aparente del dosel (CBD). Además, se realizó un escaneo con TLS y se calcularon una serie de métricas a partir de la nube de puntos.

## RESULTADOS

Con estos datos se construyeron modelos de estimación de las variables relacionadas con el riesgo de incendios a partir de métricas del TLS empleando tres metodologías: Multivariate adaptive regression splines (MARS), support vector machine (SVM) y RandomForest (RF). En general, los mejores resultados se obtuvieron con MARS con una variabilidad explicada entre el 30.87% para SFL y el 92.99% para  $\bar{h}$ .

## CONCLUSIÓN

Los resultados sugieren que un único escaneo de TLS podría ser una alternativa interesante a los inventarios tradicionales para estimar variables de combustible de sotobosque y del dosel a gran escala.

**PALABRAS CLAVE:** Canopy bulk density (CBD); Canopy Base Height (CBH); Fuel Strata Gap (FSG); carga de combustible del sotobosque.

# **Control de calidad de mediciones dasométricas mediante el uso de escáner laser terrestre (TLS) en el Inventario Forestal Continuo de Galicia**

Joel Rodríguez Ruiz<sup>1</sup>, Juan Alberto Molina Valero<sup>1</sup>, Adela Martínez Calvo<sup>1</sup>,  
César Pérez Cruzado<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Campus Terra. Universidade de Santiago de Compostela (Lugo).

Email: joel.ruiz@usc.es; juanalberto.molina.valero@usc.es; adela.martinez.calvo@usc.es

<sup>2</sup>Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo  
Email: cesar.cruzado@usc.es

## **INTRODUCCIÓN**

Los inventarios forestales son sistemas de recopilación de información que permiten conocer el estado de una superficie arbolada y monitorizar su evolución. Un factor importante en los inventarios forestales es la calidad de las mediciones, la cual se evalúa mediante remediciones de parcelas de campo. Para este fin podría ser interesante el uso de dispositivos con tecnología de teledetección basada en láser, como puede ser el escáner láser terrestre (TLS), debido entre otros motivos a su elevada eficiencia y a la transparencia, objetividad y verificabilidad de este tipo de datos.

## **OBJETIVOS**

El objetivo principal de este trabajo es estudiar el potencial y aplicabilidad del TLS en el control de calidad de los inventarios forestales a gran escala.

## **MÉTODOS**

Como caso de estudio se usa la red de parcelas del Inventario Forestal Continuo de Galicia (IFCG). El muestreo piloto del IFCG consiste en parcelas rectangulares sobre una malla de 8x8 kilómetros, que a su vez se dividen en subparcelas en función del estrato que las conforman. Las parcelas han sido medidas por los equipos de campo, y remedidas por equipos independientes y escaneadas mediante TLS en el centro de cada subparcela.

Con esta información se realiza una comparativa entre los resultados del control de calidad realizado con método convencionales y el realizado con el TLS.

## **RESULTADOS**

En este estudio se observa que los resultados del control realizado con TLS presentan un desempeño similar a los métodos convencionales hasta una distancia de unos 10m. El método mediante escaneo único presenta limitaciones en cuanto al número de árboles detectados y la presencia de matorral.

## **CONCLUSIÓN**

El control de calidad de mediciones dasométricas mediante escaneo único de TLS es viable, si bien son necesarias adaptaciones del diseño muestral para evitar interferencias de matorral y oclusiones por objetos próximos.

**PALABRAS CLAVE:** FORTLS; TLS; Inventario; Control; Calidad.

# MESA REDONDA



## Reflexiones de la mesa redonda

Juan Alberto Molina-Valero<sup>1</sup>, Adela Martínez-Calvo<sup>1</sup>, Joel Rodríguez-Ruiz<sup>1</sup>,  
César Pérez-Cruzado<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFOREs), Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidade de Santiago de Compostela, Benigno Ledo s/n, Campus Terra, 27002 Lugo, Spain.  
Email: juanalberto.molina.valero@usc.es; adela.martinez.calvo@usc.es; joel.ruis@usc.es

<sup>2</sup> Proyectos y Planificación (PROEPLA), Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidade de Santiago de Compostela, Benigno Ledo s/n, Campus Terra, 27002 Lugo, Spain.  
Email: cesar.cruzado@usc.es

Después de la celebración del *Workshop sobre Técnicas de Teledetección Próxima* los días 1, 2 y 3 de septiembre de 2021 en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Lugo (Universidade de Santiago de Compostela) nos quedaron reflexiones muy interesantes de la mesa redonda en la que, de manera exitosa, hubo representación de los sectores más importantes implicados en el sector forestal. En el siguiente texto, se recogen de manera lo más fidedigna posible, las principales reflexiones que tuvieron lugar en dicha mesa, las cuales, sin lugar a dudas, serán de gran utilidad en la reorientación de las líneas de investigación, transferencia e implementación de las tecnologías de teledetección próxima en dicho sector.

El Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales de Galicia dejó clara su posición en la apuesta por avanzar y mejorar en la toma de datos con el objetivo no solo de reducir costes, sino también de mejorar la calidad de la información mediante la obtención de resultados más rigurosos y fiables. Por lo tanto, todo lo relativo a nuevas tecnologías (como las que se discutieron en el workshop) siempre repercute positivamente; y no solo en la gestión forestal, sino también en la gestión medioambiental y, en definitiva, en la del territorio. De tal modo, ven una enorme aplicabilidad de estas tecnologías en el sector y creen que es el camino para poder evaluar mejor las existencias de madera, peligro de incendios, plagas y enfermedades, generación de cartografía, etc. Al igual que los representantes del sector empresarial, afirmaron que deberían estar más en contacto con las universidades y centros de investigación para poder reciclar y ofertar formación continua a los profesionales técnicos del sector, acercando más si cabe estas tecnologías al trabajo

de su día a día. Concluyeron comentando y reivindicando que quien puede aportar profesionalidad a la transparencia en toda la cadena, especialmente relacionada con el primer eslabón (propietario/a), son precisamente los ingenieros forestales y de montes, así como otras carreras competentes.

En cuanto al sector académico, el alumnado de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Lugo destacó la existencia de un déficit en la formación académica sobre estas tecnologías, especialmente en el Grado en Ingeniería Agrícola y Agroalimentaria. Competencias que, como indicaron, luego tienen que adquirir mediante formación extracurricular a la hora incorporarse al sector laboral, ya que algunas de estas tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) están a la orden del día en las demandas del mercado laboral. La Universidad de Vigo y la Universidad de Santiago de Compostela por su parte contestaron que, debido a la rigidez y lentitud de la burocracia universitaria, modificar el plan de estudios es una tarea muy complicada y extendida en el tiempo, reconociendo que este tipo de formación se debería adquirir en otros espacios (cursos, talleres, etc.) para garantizar la flexibilidad que requieren estas tecnologías debido al enorme dinamismo en su evolución. Por lo tanto, sugirieron aligerar los horarios de los planes de estudios para que puedan existir huecos en los que encajar este tipo de formación. También destacaron que estas tecnologías son herramientas muy útiles, pero que no vienen a sustituir la formación básica, la cual es necesaria para que la gente que trabaje con estas herramientas sepa interpretar las salidas que se obtienen (errores, sesgos, ...). Por último, y dada la polémica en cuanto a la precisión de medición entre estas tecnologías y las más convencionales, concluyeron diciendo que a corto plazo es inevitable seguir haciendo una calibración de estos sensores con mediciones de campo, destacando como ejemplo la ponencia invitada de Miguel Cabrera Bonet en el workshop donde se lleva a cabo esta calibración para una aplicación operativa del dispositivo ForeStereo en inventario forestal.

El sector empresarial aportó una reflexiones muy interesantes y variadas en función del tipo de empresa y superficies de trabajo. La empresa FINSA tuvo la sensación de que estas tecnologías están muy aplicadas a inventarios a escala monte, cuando la realidad de las empresas maderistas es la necesidad diaria de salir a por madera independientemente de la existencia o no de un inventario forestal en las superficies de corta. Estas cortas de madera, especialmente en Galicia, suelen provenir de pequeños propietarios, destacando que son una pieza fundamental en la cadena de la madera. Por lo tanto, desde su punto de vista, destacan por encima del inventario a escala monte, la necesidad de ser precisos y exactos en las tasaciones de madera en compras, y así poder ganar transparencia y garantía con los propietarios en cuanto a existencias y calidad de la madera, siendo aquí donde estas tecnologías podrían

desempeñar un papel más importante para ellos. Asociaciones presentes en el evento intervinieron defendiendo que en un altísimo porcentaje las empresas del sector hacen bien su trabajo, garantizando esa transparencia a los propietarios. Sin embargo, se quiso añadir que los propietarios de la madera, que son el primer paso en la cadena, deberían tener más conocimientos para poder saber cuántas existencias tienen en sus montes, añadiendo por último que son el gran eslabón olvidado. No obstante, también se comentó al respecto por parte de otros asistentes que los propietarios venden la madera cada mucho tiempo, sin ser la silvicultura su actividad profesional en la mayoría de los casos; por lo tanto, no se debe olvidar que hay dos sensores ya implementados en el resto de eslabones de la cadena de la madera como son la procesadora y la báscula, que tienen un papel importante como fuente de verificación de cara a ganar esa transparencia y garantía con los propietarios. De igual modo, la empresa de Lugo Cerna Ingeniería y Asesoría Medioambiental coincidió en que, para el inventario forestal de mucho detalle, sobre todo de cara a la venta de la madera, y viendo que la implementación de estas tecnologías puede presentar problemas con el matorral, la meteorología, etc., estas tecnologías podrían no ser muy útiles. Sin embargo, para otras iniciativas, como por ejemplo los proyectos LIFE de la Red Natura en los que es necesario caracterizar la estructura y cobertura de ciertas formaciones, como podrían ser los matorrales, estos sensores de teledetección próxima podrían ser muy útiles. También destacaron la competencia que estos dispositivos de teledetección próxima terrestre tienen por parte de los satélites, los cuales, con mayor resolución espacial y periodicidad en la adquisición de datos, pueden ser herramientas apropiadas para la gestión de masas forestales, con resultados aceptables para la gestión, certificación, seguimiento de masas, planificación, etc. No obstante, en masas grandes es posible que sí tengan su utilidad; por ejemplo, mediante el uso del TLS para caracterización de estructuras y construcción de modelos de árbol individual. La empresa ENCE nuevamente destacó la necesidad de poder conocer con la mayor exactitud posible la cantidad de madera en los montes propios y de terceros, especialmente en estos últimos dado que el tiempo para gestionar estas operaciones es bastante corto, lo cual coincidía con las necesidades comentadas por FINSA previamente. Aunque mencionan el conocimiento y acercamiento a este tipo de tecnologías, ambas empresas (ENCE y FINSA) reconocen que aún no las están implementando por sus requisitos de disponibilidad a escala de trabajo, siendo este su principal cuello de botella. Además, añaden que son dispositivos bastante caros, y prefieren esperar a que los precios bajen y la tecnología (software) avance para invertir y formar a su personal. Tecnología que debería ser lo más sencilla posible en su uso y procesado de la información, ya que, según su punto de vista, problemas

como la heterogeneidad en los montes suelen complicar la implementación de estas técnicas. Aunque a nivel de gestión a gran escala apuestan sobre todo por la teledetección satelital, es en la tarea de cubicación de madera donde estarían más interesados en las técnicas de teledetección próxima, concluyendo que para ellos por aquí irían las líneas de trabajo futuro. En el caso de la cooperativa de base tecnológica Agresta, la principal conclusión fue que se están dando los primeros pasos para poder introducir estas tecnologías a nivel operativo; concretando, según su punto de vista, que el ForeStereo tiene un mayor camino andado pudiéndose considerar operativo a día de hoy, el TLS empieza a andar este camino según algunas de las intervenciones del workshop, y finalmente el SLAM como tecnología más incipiente, va un poco por detrás. También quisieron subrayar que las universidades y centros de investigación suelen estar un poco alejadas de las empresas debido a la “obligación” que tienen de publicar artículos científicos, y por lo tanto no disponen de mucho tiempo para dedicarlo a la transferencia de conocimiento. Concluyeron que, para pasar del plano de la investigación al operativo, es necesaria la puesta a punto de estas tecnologías calibrándolas con los datos de campo y desarrollando el software oportuno para el procesado de los datos que registran. Otras empresas presentes en el evento intervinieron para mencionar que siempre han estado abiertos a la implementación de estas tecnologías, aunque de momento son los primeros pasos, y que apuestan rotundamente por andar ese camino en colaboración con la universidad. También cabe destacar los comentarios de una empresa con mucha experiencia en la gestión de montes vecinales en mano común (propiedades de gran tamaño comparadas con los propietarios particulares en Galicia), la cual quiso destacar con su intervención la importancia que tiene el inventario forestal para ellos por ser una herramienta básica en su gestión. Afirmaron que la obtención del máximo rendimiento posible para los propietarios es totalmente necesario según su experiencia, ya que les ayuda a una mejor planificación en las claras, las cuales son muy importantes porque determinan el valor futuro de la madera remanente en el monte. Por lo tanto, apuestan claramente por estas tecnologías, pero añadieron que las mediciones convencionales de las parcelas de campo van a seguir siendo necesarias al menos durante unos años.

Por último, desde la Administración declararon que se está apostando por los procesos de digitalización, aunque teniendo claro que nunca pueden ser un fin en sí mismos, y defendieron que bajar la incertidumbre en la toma de decisiones, sea cual sea la herramienta que ayude a esto, siempre es bienvenido. Destacaron también que la información tiene que ser valiosa, y que de nada sirve registrar muchísimos datos para tomar una decisión que de alguna manera ya era obvia. Desde su punto de vista, no debería preocupar

tanto conseguir que los inventarios forestales tengan errores muy bajos, ya que a veces estos inventarios requieren de una cubicación justo antes de la corta. En su opinión es mucho más valioso que la superficie de montes ordenados sea la mayor posible, y por tanto que haya gestión forestal. Como otros ponentes de la mesa, comentan que quizás uno de los puntos fuertes de estas tecnologías es el poder eliminar la incertidumbre entre el propietario y las empresas madereras. Para concluir, destacaron el proyecto del Inventario Forestal Continuo de Galicia (IFCG) como un buen ejemplo de integración de los agentes involucrados en el sector, destacando principalmente dos aspectos: (1) en el proceso de diseño del IFCG hubo una reunión con todos los agentes del sector forestal para que expresaran qué información necesitaban, y (2) la disposición en abierto de esta información en bruto, independientemente de los informes periódicos generados, pudiéndose utilizar estos datos para otras salidas. Como moraleja, indicaron que las nuevas tecnologías pueden ser una herramienta útil siempre que se adapten a los requisitos exigidos.



# TALLERES



# Taller para el procesamiento y análisis de los datos tomados con el dispositivo óptico ForeStereo

Fernando Montes Pita, Isabel Aulló Maestro

Centro de Investigación Forestal (CIFOR), INIA - CSIC. Ctra. de La Coruña, km 7,5, 28040 Madrid, España.

Email: [fmontes@inia.es](mailto:fmontes@inia.es); [isabel.aullo@inia.es](mailto:isabel.aullo@inia.es)

Se llevó a cabo el procesamiento de imágenes estereoscópicas hemisféricas obtenidas con ForeStereo y el posterior cálculo de variables dendrométricas y dasométricas con el software desarrollado por el grupo de Inventario Forestal del INIA-CIFOR.

Para el procesamiento de imágenes se utilizaron tanto el método de segmentación y correspondencia automático como el método guiado por el usuario implementados en el software. El procesamiento automático consiste en, partiendo de la clasificación de la imagen, un proceso de segmentación utilizando el algoritmo *Watershed* seguido de un proceso de correspondencia de regiones basado en las características. En el caso del procesamiento guiado por el usuario, un algoritmo *Region Growing* segmenta el fuste a partir de una sección identificada por el usuario en cada una de las imágenes.

En cuanto al cálculo de variables dendrométricas, a partir de los datos de diámetros y altura de las secciones extraídas en el procesamiento de imágenes se ajustan ecuaciones de perfil para cada especie, estimando el diámetro normal, altura total y volumen del árbol. Para estimar las variables de masa (área basimétrica, número de pies, diámetro medio y volumen por ha) se lleva a cabo la corrección del sesgo instrumental y las oclusiones mediante alguno de los métodos implementados en el software.

# Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el Escáner Láser Terrestre (TLS) mediante el paquete de R FORTLS

Juan Alberto Molina Valero, Adela Martínez Calvo, Óscar López Álvarez  
Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidade de Santiago de Compostela. Rúa Benigno Ledo s/n, Campus Terra, 27002 Lugo, España.  
Email: juanalberto.molina.valero@usc.es; adela.martinez.calvo@usc.es; oscarlopez\_96@hotmail.com

En este taller se impartieron los conocimientos básicos para recorrer todo el flujo de trabajo del paquete de R FORTLS; diseñado para procesar nubes de puntos pertenecientes a escaneos únicos de TLS (versiones posteriores también contemplarán el procesado de nubes de puntos pertenecientes a escaneos múltiples de TLS y dispositivos SLAM), con el principal objetivo de estimar variables dendrométricas y dasométricas para su uso en inventario forestal. Para ello, se partió desde datos originales de escaneos únicos de TLS (suministrados en formato .las), pasando por todos los pasos necesarios para llegar hasta la generación de métricas y variables relacionadas con atributos forestales importantes para la gestión y planificación. Con tal fin, se utilizaron los mismos datos incluidos en los ejemplos de FORTLS, los cuales están disponibles en el repositorio CRAN. Para la estimación de métricas y variables, se exploró tanto la vía en la que no se dispone de datos de campo, como la vía en la que se puede optimizar el diseño de parcela mediante la calibración con datos medidos en campo. Esta última opción, permite por un lado minimizar el sesgo en las estimaciones de cara a realizar estimaciones directas, y por otro lado maximizar la correlación entre las variables de interés y las métricas y variables generados con FORTLS de cara a estimaciones basadas en modelos. Además, se consideraron las metodologías implementadas para la corrección de oclusiones y todos los diseños de parcela implementados en FORTLS con el objetivo de explorar toda la potencialidad de esta herramienta.

# Taller de fotogrametría digital. De imágenes a nubes de puntos y ortofotos: oportunidades para el diagnóstico y la gestión medioambiental

Damià Vericat Querol

Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, Universitat de Lleida. Av. Alcalde Rovira Roure 191, España.  
Email: damia.vericat@udl.cat

Este taller tuvo como objetivo principal el establecimiento de un diagrama de flujo para la aplicación de fotogrametría digital en estudios medioambientales a partir de ejercicios prácticos relacionados con los aspectos clave de dicho diagrama. Para ello se abarcaron los siguientes objetivos específicos: (i) presentación de los aspectos generales de la fotogrametría digital (FD); (ii) introducción a los aspectos claves en la adquisición de información para aplicación de FD; (iii) introducción y demostración de aspectos claves en el post-proceso de la información a partir de técnicas de FD; (iv) presentación de los productos obtenidos mediante estas técnicas; y (v) introducción y demostración de algunos de los posibles análisis que se pueden hacer con los productos obtenidos. Para ello se facilitaron datos obtenidos en el marco de proyectos de investigación desarrollados en el Grupo de Investigación de Dinámica Fluvial (RIUS) de la Universidad de Lleida. Se aplicó el software de libre distribución Cloud Compare y Geomrophic Change Detection. Se han facilitado *'Take Home TIPS'* en cada uno de los objetivos específicos para resaltar aquellos aspectos clave a tener en cuenta al desarrollar metodologías para la obtención, procesado y análisis de datos a partir de técnicas de fotogrametría digital. Al final del taller los participantes obtuvieron un diagrama de flujo en el que se indicaban:

- (a) Aspectos clave para la adquisición de datos: plataformas, sensores, altura y resolución, datos de terreno, permisos.
- (b) Aspectos clave para el post-proceso de los datos: software, errores de post-proceso, correcciones, limpieza de las nubes de puntos, segmentación, sub-muestras, regularización y clasificación.
- (c) Aspectos clave para el análisis de los datos: software, algoritmos, caracterización en base a nubes de puntos o modelos digitales de superficies o ortofotos, análisis evolutivos o de cambio.

Todos estos aspectos clave fueron adquiridos o presentados mediante los ejercicios prácticos en el aula o, en su caso, ejercicios demostrativos.



# SPONSORS



# LÁSER ESCÁNER EN ENTORNOS FORESTALES

Obten levantamientos 3D de forma rápida y eficiente



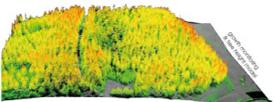
## VEGETACIÓN

Debido a las velocidades de escaneo extremadamente altas, la tecnología LiDAR proporciona una nube de puntos de alta densidad excepcional, lo que lo hace ideal para aplicaciones forestales.



## CONDICIONES DEL TERRENO

La excelente tasa de penetración de la vegetación da como resultado un alto número de retornos del suelo que se pueden utilizar para generar modelos de terreno muy detallados.



## MONITORIZACIÓN Y MODELADO DEL CRECIMIENTO DE ÁRBOLES

Todos los puntos clasificados como vegetación se pueden colorear según la altura relativa sobre el suelo. Esto da como resultado un modelo de estimación relativa de los árboles que revela regiones de rodales de vegetación baja y alta. Las tasas de crecimiento se pueden documentar mediante la comparación de modelos de altura recopilados durante un período de tiempo.



## ARBUSTOS Y NATURALEZA MUERTA

La maleza de un bosque está formada por arbustos y semillas. Desempeña un papel importante en el ecosistema forestal y es el hábitat para la vida silvestre y de aves.



## TERRENO DESCUBIERTO

Con todos los datos de vegetación eliminados, los puntos restantes definen un modelo de terreno muy detallado. Este modelo revela claramente carreteras y trincheras, así como los resultados de la inestabilidad y erosión de las pendientes.

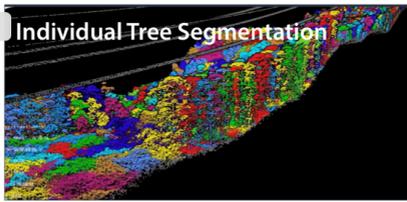


# Inventario forestal con Tecnología Lidar/Slam



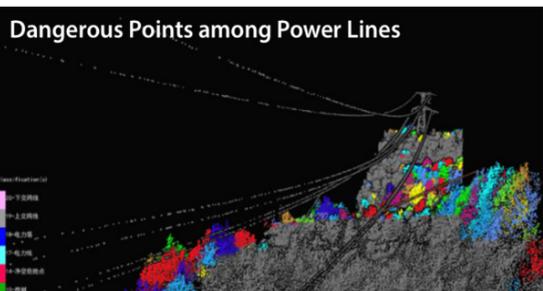
Sistemas de captura de datos en campo y software para obtención de los siguientes resultados digitales:

- Segmentación de la nube de puntos forestal en árboles individuales
- Determinación de densidad forestal y niveles de estocaje, automáticamente
- Determinación a través de análisis de regresión de parámetros como almacenaje de carbono, cálculo de biomasa aérea, volúmenes de madera, etc.
- desbrozado bajo líneas eléctricas
- Modelos digitales del terreno



Powerline\_3-4\_Extract by Class1\_ALS Point Cloud Segmentation.csv

TreeLocationX	TreeLocationY	TreeHeight	CrownDiameter	CrownArea
7943.050	2564153.460	55.610	3.321	8.662
7949.690	2564155.070	55.500	3.696	10.726
7933.110	2564152.830	53.780	6.905	37.444



Avda. Filipinas, 46  
28003 Madrid  
Tfo. 91 5537207  
Fax 91 5336282

E-mail [grafinta@grafinta.com](mailto:grafinta@grafinta.com)





**Organiza:**



**Colabora:**



**Financia:**



**Patrocina:**

