2025 | 16·20
GIJÓN | JUNIO
9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1442

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025**.
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza

Plataforma web para fomentar la tecnología LiDAR en la planifiación y gestión forestal

CERVERA ZARAGOZA, T. (1)y FLETAS TORRENT, M. (1)
(1) Centre de la Propietat Forestal. Generalitat de Catalunya.

Resumen

Implementar un sistema capaz de aportar la información necesaria para describir las masas forestales, en un entorno digital e interoperable, facilitaría la toma de decisiones para evaluar y planificar, convirtiéndose en una herramienta clave para garantizar la mejora, la sostenibilidad y la multifuncionalidad de los sistemas forestales. Digiforcat pretende que el uso de los datos LiDAR se generalice en el análisis de las masas forestales de Catalunya fomentando el uso del inventario forestal basado en datos LiDAR en la planificación y gestión forestal.

Palabras clave

Inventario LiDAR, modelización, plataforma digital

1. Introducción

La innovación, entendida como implantación de cambios con el objetivo de mejorar los resultados, es un requisito indispensable en la estrategia de las administraciones públicas en la mejora de la eficiencia y la calidad de los servicios. Actualmente, la innovación va estrechamente ligada a los procesos de digitalización que mejoran la eficiencia y la productividad. El uso de las TIC y la innovación digital es una oportunidad para conocer y mejorar la toma de decisiones en el contexto de la planificación y gestión forestal.

Implementar un sistema capaz de aportar la información necesaria para describir las masas forestales a diversas escalas, en un entorno digital e interoperable facilitaría la toma de decisiones a la hora de evaluar, planificar y realizar el seguimiento de las actuaciones que se realizan convirtiéndose en una herramienta clave para garantizar la mejora, la sostenibilidad y la multifuncionalidad de los sistemas forestales.

LiDAR, del inglés (Light Detection and Ranging), es una tecnología capaz de describir las características de las masas forestales. Su correcta utilización permite reducir costes y tiempo en el proceso de obtención de datos provenientes de los inventarios forestales. El análisis de los retornos de los pulsos de luz emitidos desde el sensor combinado a con los datos de posicionamiento permite realizar medidas tridimensionales del terreno. Las superficies compactas emiten un solo retorno. La vegetación permite el paso del pulso de luz a través suyo y el sensor es capaz de captar varios retornos. El análisis estadístico de estos retornos permite describir la estructura de la vegetación y diferenciarla del suelo.

El uso de datos continuos permite que los resultados obtenidos sean continuos por todo el territorio, normalmente en forma de base de datos con componente espacial, y permiten un análisis completo de las masas forestales.

El Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) ha adquirido un nuevo sensor LiDAR con unas características óptimas para realizar inventarios forestales. Las previsiones de vuelos y generación de datos garantizan disponer de información LiDAR tanto a corto plazo como en los próximos años. El primer vuelo con el nuevo sensor ya se ha ejecutado y se prevé poner los datos a disposición de los usuarios durante el año 2025.

En el año 2004 se inician los trabajos para la elaboración de las orientaciones de gestión forestal sostenible de Catalunya (ORGEST), que pretenden establecer modelos de gestión de las masas según los objetivos de gestión. Los orgest se basan en la identificación y la definición de las Tipologías forestales arboladas de Catalunya hecha desde el punto de vista de la gestión. Primeramente, se establecen la clasificación a partir de las formaciones existentes, puras y mixtas, y la calidad de estación de donde están ubicadas. En una segunda fase, y a través del consenso de expertos sobre el territorio, se definen modelos de gestión de acuerdo con el tipo de objetivo. El resultado es una clasificación de las masas forestales de Catalunya y unos modelos de gestión utilizados ampliamente en los instrumentos de ordenación forestal del país.

Es necesario definir una estrategia para hacer posible que el uso de los datos LiDAR generados por el ICGC se generalice en el análisis de las masas forestales de Catalunya y fomentar su uso en la planificación y gestión forestal a escaleras de rodal, finca y macizo. Es necesario posibilitar el uso de las tipologías forestales arboladas de las orgest a la hora de interpretar los datos y elaborar los modelos matemáticos que permiten obtener las variables que describen las masas forestales arboladas. Es necesario crear la metodología y las herramientas necesarias para realizar inventarios LiDAR adaptados a la realidad de las masas forestales de Catalunya y facilitar el acceso a planificadores y gestores forestales. Para todo ello nace la plataforma web Digiforcat.

2. Objetivos

El objetivo de Digifotcat es crear una metodología y las herramientas necesarias para poder realizar inventarios forestales con tecnología LiDAR adaptados a la realidad de las formaciones forestales de Cataluya.

A partir de los datos de la tercera cobertura LiDAR generados por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, las tipologías forestales identificadas en el proyecto ORGEST y datos obtenidos a través de la realización de inventarios forestales sobre el terreno se pretende establecer una metodología innovadora, elaborando y clasificando la información necesaria que permita obtener variables estructurales de las masas arboladas,para poder definir, implementar y llevar a cabo el seguimiento de la gestión forestal con este tipo de tecnología y a diferentes escalas: paisajística, de bosque y de rodal.

Teniendo la cuenta de que los procesos de digitalización de la administración pública pretenden mejorar la accesibilidad de ciudadanos y empresas a los servicios públicos, será necesario que los resultados obtenidos del servicio se puedan poner a disposición de los interesados a través de herramientas desarrolladas en el mundo digital disponiendo de una plataforma de acceso y tratamiento de la información obtenida.

3.Metodología

Digiforcat se implementará en tres fases:

1. Realización de inventarios forestales. Recogida de datos de inventario en campo de las formaciones arbóreas de Catalunya definidas en el proyecto ORGEST.
2. Establecimiento de una metodología de referencia para realizar inventarios en cualquier ámbito del territorio, a partir del tratamiento de los datos LiDAR y de los datos de inventario obtenidos.
3. Desarrollo tecnológico que permita el acceso a los datos y a la metodología

obtenida y a la posibilidad de aplicarla a través de una plataforma web.

3.1 Realización de inventarios forestales

Es de vital importancia la obtención de datos de campo mediante inventarios de calidad. Se realizarán aproximadamente 700 inventarios de campo. La obtención de estos datos se consideran un pilar fundamental no solo para este proyecto si no para posibles usos en proyectos alternativos dado el gran valor que adquiere dicha información.

Se realizarán inventarios forestales de las principales formaciones arbóreas de Catalunya, teniendo en cuenta la distribución territorial según la adaptación de cada especie a las diferentes condiciones ambientales, las cualidades de estación y la formación de masas mixtas y puras según las especies secundarias presentes.

Se realizará un riguroso diseño de inventario basado en modelos, con los cuales desarrollar las herramientas matemáticas óptimas para predecir el mayor número de variables forestales relevantes para la gestión.La toma de datos de campo desde un punto de vista estadístico debe estar apoyado en la correcta definición de los estratos de muestreo. Se utilizarán los datos LiDAR, con el fin de conseguir una correcta distribución de los puntos de muestreo dentro de cada estrato. De la misma manera se agruparán las numerosas formaciones forestales existentes en Catalunya siguiendo criterios de homogeneidad en cuanto a su respuesta esperable al escaneado LiDAR manteniendo las formaciones de mayor extensión, así como aquellas menos prevalentes, pero de gran importancia forestal, como estratos independientes.

El diseño del muestreo basado en modelos debe apoyarse exclusivamente en criterios estadísticos, de tal manera que la muestra recoja óptimamente toda la variabilidad de espesuras y estados de desarrollo existentes en los estratos de interés. El procedimiento propuesto se resume a continuación.

Los estratificadores empleados serán la fracción de cabida cubierta (LFCC) y el percentil 95 alturas (P95), procesados a partir de la tercera cobertura LiDAR generada por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. De manera independiente para cada uno de los estratos de vegetación se definirán tres segmentos (aproximadamente de igual población) para cada uno de esos dos estratificadores, por lo que el número máximo de estratos de muestreo (lo denominaremos CLASE de aquí en adelante, para no confundirlo con el estrato de vegetación) es 9. Cada uno de esos segmentos se etiquetarán con 1, 2 o 3 (de menor a mayor valor del estratificador), con lo cual la etiqueta combinada para cada CLASE puede tomar los valores 11, 12, 13, 21, 22, 23, 31, 32 o 33 (en primer lugar, va la etiqueta de LFCC y en segundo la del P95). Así, por ej. la etiqueta 23 se correspondería con la CLASE con LFCC media y alturas de vegetación elevadas. Una vez definidas las clases, los puntos de muestreo han de ubicarse en localizaciones que presenten una notable homogeneidad local en cuanto a los estratificadores, de tal manera que pequeñas desviaciones en cuanto a la geolocalización no introduzcan un ruido significativo en el posterior ajuste estadístico.

En la plataforma web se prevé la implementación de un sistema automatizado que ejecute este diseño de muestreo introduciendo los estratos de interés en un archivo vectorial. Así, los usuarios de la plataforma podrán diseñar sus propios muestreos.

Una vez realizado el diseño del inventario se procederá a la toma de datos de

campo.

El equipo de trabajo se aproximará mediante un navegador convencional a la coordenada calculada en gabinete. Una vez localizada aproximadamente, se comprobará de visu que las características críticas del rodal (estrato, cobertura y altura) coincide con lo esperado en gabinete. De no ser así, se rechazará la ubicación. Si sí cumple, se procederá a capturar la coordenada del centro de la parcela con precisión submétrica.

Las parcelas serán circulares, de 14.1 m de radio (400 m^2). En cada una de ellas se recogerán los siguientes datos:

- Diámetro normal (dn) en cm, con precisión milimétrica, de todos los árboles inventariables (dn≥7.5 cm), mediante dos mediciones en cruz.
- Altura total (ht) en m, con precisión decimétrica, de los cuatro árboles más gruesos de la parcela, siempre que sean dominantes o codominantes y no estén tronchados o muy inclinados.
- Altura de la base de la cabezada viva (hcb) en m, con precisión decimétrica, de estos mismos cuatro árboles.
- De cada árbol se anota si está vivo o muerto y su código IFN de especie.
- Porcentaje de cobertura (%) y altura media y máxima del matorral (cm), mediante estimación pericial, así como el nombre de las especies dominantes.
- Pedregosidad del suelo (alta, media, baja), mediante estimación pericial.
- Bosque gestionado / no gestionado
- Regenerado

Se realizará el cálculo de todos los parámetros dasométricos de interés susceptibles de ser modelizados mediante inventario LiDAR. Los parámetros mínimos para calcular, bien directamente a partir de la información dendrométrica recogida en campo, bien derivada de la aplicación de las ecuaciones auxiliares (altura diámetro, cubicación, biomasa, etc.) serán, como mínimo:

- Densidad (N, pies/ha).
- Área basimétrica (G, m^2/ha).
- Diámetro medio cuadrático (Dg, cm).
- Altura dominante (Ho, m).
- Volumen total en pie (VCC, m^3/ha).
- Crecimiento corriente anual en volumen (IAVC, m^3/ha/año)
- Biomasa total (W, t/ha)

3.2 Metodología de referencia datos inventario y LiDAR

Se establecerá una metodología de referencia para realizar inventarios en cualquier ámbito del territorio, a partir del tratamiento de los datos LiDAR y de los datos de inventario obtenidos.

Mediante las herramientas informáticas apropiadas se procede al recorte de la nube de puntos LiDAR para la ubicación exacta de las parcelas de campo, conocida por las coordenadas de su centro (capturadas con precisión submétricas) y por su radio.

Una vez recortadas las nubes de puntos LiDAR se han de calcular, para cada parcela, las mismas métricas LiDAR que se computaron en la fase de inventario, de forma que sea factible construir una base de datos en la que se tengan, para cada una de las parcelas medidas en campo, las variables dasométricas derivadas de la

información dendrométrica tomada sobre el terreno y los estadísticos del LiDAR.

Con la base de datos generada se procede al ajuste de regresiones lineales o no lineales entre los parámetros dasométricos (variables predichas) y las métricas LiDAR (variables predictoras). Una vez establecido el conjunto de ecuaciones predictivas de los parámetros dasométricos para cada estrato, se aplicarán a los valores de las variables predictoras (métricas LiDAR) calculadas en cada celda del área de interés, en un archivo geoespacial vectorial, para obtener así la predicción de los parámetros dasométricos en esas mismas celdas. Además, en cada celda se podrá requerir el cómputo de otros parámetros dasométricos (índice de Hart-Becking, Índice de Reineke, Factor de Estabilidad, etc.) que sean calculables directamente a partir de los predichos mediante las ecuaciones predictivas.

La información geoespacial obtenida se cruzará mediante los geoprocesos necesarios con capas vectorial de cantones, de tal manera que se obtengan los valores agregados de cada parámetro dasométrico, tanto por hectárea cuando sea pertinente, como totales. Esta agregación deberá hacerse ponderando por la superficie de cada celda dentro del cantón correspondiente. Los valores por hectárea se calcularán siempre con respecto al área poblada del cantón correspondiente según se deriva de la información LiDAR procesada. Las mismas variables computadas a escala de cantón se calcularán desagregadas por clases diamétricas y especies.

Con el objetivo de evaluar la capacidad predictiva de las ecuaciones ajustadas y de ahí establecer la calidad de los inventarios, se propone una metodología para validar los resultados obtenidos. En cada parcela o bosquete pie a pie se calcularán:

- Los mismos parámetros dasométricos que se computaron en las parcelas de inventario y, utilizando las mismas ecuaciones auxiliares. Estos parámetros se considerarán como valores observados.
- A partir de la capa de inventario generado, se estimarán las existencias dentro de cada bosquete para los mismos parámetros dasométricos. Estas estimaciones se considerarán como los valores predichos.

Finalmente, se computarán los errores como la diferencia entre cada pareja de valores observados y predichos. Para aceptar la validez de la capacidad predictiva del inventario se han de cumplir las dos condiciones siguientes:

- Error medio inferior al 5% con respecto al valor medio de la variable media observada en masas puras y del 10% en masas mixtas, y que no sea significativamente distinto de cero para un p-valor de 0.10.
- Error absoluto medio inferior al 20% con respecto al valor medio de la variable media observada para masas puras y del 30% para mixtas. Estos umbrales podrán ser revisados en función de las características de cada estrato y proyecto.

3.3 Desarrollo tecnológico y plataforma WEB

El proyecto Digidorcat pretende ser un referente en el uso de los datos LiDAR en el ámbito de la planificación y la gestión forestal. Para aprovechar al máximo el potencial que esta tecnología ofrece es necesario no dar por terminado el proyecto hasta que se establezcan las herramientas que hagan posible que las propuestas metodológicas surgidas sean difundidas y puestas en valor. Para ello se desarrollará una plataforma web para la difusión de los datos obtenidos y para la aplicación práctica de las metodologías elaboradas. Para ello se establecerán

servicios a los usuarios que permitan:

- Acceso a la información.
- Acceso a la descarga de datos LiDAR.
- Los usuarios, de manera individualizada, deben poder crear sus proyectos y acceder a la información y al tratamiento de datos de cada uno de ellos.
- Los usuarios, para sus proyectos, podrán:
    - Definir un ámbito de proyecto mediante la carga de un archivo o archivos en formato estándar de sistema de información geográfica vectorial.
    - Seleccionar los datos de la tercera coberturaLiDAR del ICGC para el ámbito definido.
    - Realizar una computación en la nube para aplicar la metodología de modalización y realizar los cálculos necesarios para obtener un inventario LiDAR para el ámbito definido.
    - Permitir aplicar la metodología con o sin aportación de datos adicionales de inventario de campo. Los datos aportados pueden ser utilizados como puntos de control para obtener información precisa de la calidad del resultado, y/o como puntos adicionales para mejorar la modelización.
    - Descargar los resultados de inventario dentro del ámbito determinado por el usuario, con las métricas LiDAR obtenidas, las variables de la masa forestal obtenidas y cartografía de los resultados. El usuario deberá obtener los resultados y toda la documentación utilizada en su obtención y el material necesario para la trazabilidad de la obtención de los datos.

4. Resultados

En el año 2024 el Centre de la Propietat Forestal realizó un concurso público para licitar la contratación de una empresa para el desarrollo del proyecto Digiforcat, siendo Föra forest technologies, SLL la empresa ganadora.

Se han establecido comités técnicos con expertos del ámbito forestal y del ámbito de la modelización de datos LiDAR en Catalunya y Andorra, así como personal del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya para buscar sinergias que permitan el buen desarrollo del proyecto.

Digiforcat, actualmente en fase de desarrollo, tiene como objetivo futuro establecer una metodología avanzada para la realización de inventarios forestales mediante la integración de datos de campo y tecnología LiDAR. Esta metodología se centrará en la generación de modelos predictivos de parámetros dasométricos a través del ajuste de regresiones lineales y no lineales entre las métricas LiDAR y las variables dasométricas obtenidas en campo. Los modelos predictivos permitirán generar inventarios a partir de datos LiDAR en montes de características similares a los utilizados para crear el modelo. Además, se desarrollará una plataforma web que permitirá a los usuarios acceder a los datos LiDAR, crear proyectos personalizados, aplicar la metodología de modelización y validar los resultados obtenidos. Esta plataforma facilitará el uso de los datos LiDAR, mejorando la planificación y gestión forestal a diversas escalas mediante el uso de herramientas de computación en la nube y geoprocesos avanzados.

La digitalización de los procesos y el acceso universal a resultados y metodologías permite acercar la innovación a los usuarios finales cumpliendo así la voluntad de servicio de las administraciones públicas.

5. Discusión

Los datos LiDAR tienen un gran potencial para describir las masas forestales a diferentes escalas. A menudo la utilización de esta tecnología se ve frenada por la dificultad que conlleva el tratamiento de los datos. El procesamiento y análisis de datos LiDAR requieren conocimientos técnicos avanzados y es necesario contar con personal capacitado en el uso de software especializado y en la interpretación de los datos. Es esencial desarrollar metodologías robustas para integrar y validar estos datos, asegurando la precisión y utilidad de los modelos predictivos .

Digiforcat pretende facilitar el acceso a los datos y desarrollar una metodología para tratarlos que garantice unos resultados útiles y eficaces intentando minimizar el esfuerzo y los costes de usuarios finales no acostumbrados al uso de la tecnología.

La generalización y automatización de determinados procesos puede conllevar la pérdida de exactitud y debe considerarse en la obtención de los resultados finales. Los sistemas automatizados pueden ser menos flexibles ante cambios inesperados o situaciones no previstas. La capacidad de adaptación y respuesta rápida puede verse limitada en comparación con la intervención humana.

6. Conclusiones

La implementación de la tecnología LiDAR en la gestión forestal, como se propone en el proyecto Digiforcat, representa una oportunidad transformadora para mejorar la eficiencia y precisión de los inventarios forestales. El desarrollo de una metodología que combina datos de campo y métricas LiDAR permite generar modelos predictivos robustos para la mayoria de formaciones forestales de Catalunya . Estos modelos permitirán generar inventarios a partir de datos LiDAR en montes de características similares a los utilizados para crear el modelo, lo que asegura una aplicación amplia y efectiva.

La plataforma web Digiforcat será un recurso valioso, permitiendo a los usuarios acceder a datos LiDAR, crear proyectos personalizados, aplicar la metodología de modelización y validar los resultados obtenidos.

En resumen, Digiforcat no solo mejorará la eficiencia y precisión de los inventarios forestales, sino que también establecerá un estándar para la integración de tecnología avanzada en la gestión forestal. Con el apoyo adecuado y la inversión en capacitación y desarrollo tecnológico, esta iniciativa tiene el potencial de transformar la gestión forestal.

El desarrollo de la plataforma web debe representar un inicio en la relación entre la administración, desarrolladores y usuarios finales que permita la circulación de la información en busca de la mejora de herramientas y procesos que permitan garantizar la mejora, la sostenibilidad y la multifuncionalidad de los sistemas forestales. No obstante, el desarrollo de entornos virtuales que permitan realizar procesos en un entorno digitalizado no nos obliga a abandonar el trabajo de campo para validar metodologías y resultados así como el necesario contacto con gestores forestales.

7. Bibliografía

ROUSSEL, J.; GOODBODY,T.; TOMPALSKY, P.; The lidR package

PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; CERVERA, T.; BAIGES, T.; FARRIOL, R.; 2011 Tipologías forestales arboladas.