



**2025** | **16-20**  
**GIJÓN** | **JUNIO**

**9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL**

**9CFE-1847**

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

Organiza





## Proyecto Sintetic: Digitalización y trazabilidad forestal para una gestión sostenible y eficiente

RUANO SASTRE A. (1), MARTÍN-CORTÉS C. (1), KYMÄLÄINEN H. (2), CORONGIU M. (3), SANDAK J. (4), POVEDA J. (5), MULLOOLY G. (5), MILAZZO G. (6), NATI C. (3), MOLA-YUGO B. (2), MELEGARI S. (7) y PICCI G. (3)

(1) Consorci Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC)

(2) Universidad de Finlandia Oriental (University of Eastern Finland, UEF)

(3) Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)

(4) Innorenew Coe Center Odlicnosti za Raziskave in Inovacije na Področju Obnovljivih Materialov in Zdravega Bivanjskega Okolja (INNO)

(5) Treemetrics Limited

(6) Bluebiloba Startup Innovativa SRL

(7) European Organisation of the Sawmill Industry (EOS)

### Resumen

El proyecto Sintetic está desarrollando e implementado una infraestructura digital innovadora para mejorar la gestión de la cadena de valor forestal en Europa. Utilizando tecnologías avanzadas como sensores LiDAR, RFID y sistemas ópticos, está tiene por objetivo optimizar la trazabilidad, cantidad de madera de calidad y eficiencia en la producción y gestión de madera. El proyecto está permitiendo una mejor recuperación de valor de los productos madereros mediante la optimización de tronzado y la gestión de inventarios, adaptándose a diferentes contextos forestales, desde áreas altamente mecanizadas hasta zonas con sistemas manuales. Además, impulsa la participación de los propietarios de bosques en la monitorización de la salud forestal y e intenta facilitar la adopción de herramientas digitales, contribuyendo a la sostenibilidad del sector así como al control de las talas ilegales.

### Palabras clave

Trazabilidad, digitalización, LiDAR móvil, optimización, agregación forestal, talas ilegales.

## 1. Introducción

En las últimas dos décadas, las tecnologías de información y comunicación (TIC) han sido adoptadas gradualmente por el sector forestal europeo. Estas incluyen entre otras:

- Monitoreo del territorio e inventarios forestales mediante sensores satelitales (Muller et al. 2019).
- Uso de sensores LiDAR en plataformas aéreas o como escáneres láser terrestres (TLS) para mapear estructuras forestales (Muller et al. 2019).



- Maquinaria de aprovechamiento forestal con sensores de posicionamiento y medición de troncos que generan datos en formato StanForD, utilizados para facturación y gestión de operaciones (Picchio et al. 2019).
- Sensores ópticos y de rayos X en aserraderos para evaluar características de la madera y optimizar el aserrado (Leblon & Stirling 2015).

Aunque estas tecnologías aportan mejoras significativas en procesos específicos, los datos generados no pueden interrelacionarse debido a la falta de estándares comunes y la fragmentación de la cadena de suministro. Esto representa una oportunidad perdida para maximizar la eficiencia y el valor (Muller et al. 2019).

En el proyecto Sintetic (<https://sinteticproject.eu/>) se está creando una plataforma que abarca desde el inventario forestal hasta los productos finales de la industria de la madera, integrando información obtenida de múltiples sensores y procesos en estándares digitales unificados (por ejemplo, StanForD). Esto facilita la colaboración entre los actores del sector y optimizará la transferencia de información.

Entre las innovaciones clave, cabe destacar que se está desarrollando un sistema de trazabilidad que permite vincular elementos físicos (árboles, troncos, tablas) con información digital mediante tecnologías como códigos troquelados en la madera, RFID y sistemas ópticos. Un innovador sistema de marcado troquela un código único en los troncos durante las operaciones forestales, asociándolo a datos relevantes y almacenándolos en una base de datos geográfica centralizada. Alternativamente, se puede utilizar tecnología RFID en situaciones específicas como la silvicultura cercana a la naturaleza o piezas de gran valor.

En los grandes aserraderos, el proyecto Sintetic está implementando un sistema propietario de huellas dactilares basado en características únicas de los defectos de la madera para rastrear trozas y tablas. Este enfoque flexible permitirá adaptarse a diversas cadenas de valor forestal en la UE.

El uso de sensores LiDAR aéreos y terrestres revolucionará la obtención de datos sobre estructuras forestales, características de los árboles y distribución del volumen (Muller et al. 2019). En el proyecto Sintetic se integran sensores LiDAR con máquinas forestales para obtener datos georreferenciados en tiempo real y desarrollar algoritmos que optimicen operaciones como el tronzado y el inventario de los árboles que quedan en el bosque.

La plataforma permite correlacionar datos de inventarios, operaciones de aprovechamientos forestales y características del producto final. Esto incluye modelos predictivos que se están desarrollando basados en big data que relacionan la anatomía de la madera con factores ambientales y de gestión forestal, mejorando las estrategias de manejo forestal y la resistencia frente a cambios climáticos.



Los sensores avanzados, como tomografía computarizada y sistemas ópticos, tiene por objetivo optimizar procesos industriales y reducir el desperdicio al evaluar la calidad de cada tabla y vincularla y colocarla en el árbol de origen. Esto mejorará la respuesta a la demanda y la trazabilidad, resolviendo problemas históricos de desconexión en la cadena de valor (Leblon & Stirling 2015).

Dentro del proyecto Sintetic se está desarrollando un sistema de monitoreo basado en datos satelitales Copernicus, complementados con datos en tierra para validar los cambios de cobertura forestal. Este sistema permitirá identificar disturbios a pequeña escala, diferenciando entre operaciones legales e ilegales, y enfocando los esfuerzos de control en actividades sospechosas y cuantificación de daños tras desastres naturales (Feng & Audy 2020).

La fragmentación de la propiedad forestal limita el manejo efectivo en muchos países de la UE. Dentro del proyecto Sintetic se está abordando este desafío mediante una plataforma de gestión colaborativa basada en tecnologías de redes sociales. Esto facilita la agregación de propiedades y la administración común, integrando herramientas digitales para la recopilación de datos y la asignación de operaciones y división de beneficios entre propietarios de forma justa.

El proyecto Sintetic tiene por objetivo ayudar a una revolución en la gestión forestal al unificar y maximizar el uso de datos digitalizados a lo largo de toda la cadena de valor. Desde mejoras en inventarios forestales y trazabilidad digital hasta la optimización de procesos industriales y prevención de tala ilegal, las innovaciones propuestas generarán beneficios económicos, ecológicos y sociales. Al permitir una gestión más eficiente y sostenible de los recursos forestales (Murphy et al. 2012; Picchi 2020).

## 2. Objetivos

El proyecto SINTETIC tiene como objetivo transformar el sector forestal europeo abordando desafíos críticos y desbloqueando un mayor potencial de los recursos forestales mediante objetivos específicos.

El proyecto busca mejorar la recuperación de valor de los productos madereros aprovechando modelos avanzados de LiDAR e imágenes ópticas. Estas innovaciones mejorarán la estimación de volumen y valor a nivel de rodal y árbol, optimizando los procesos de tronzado y aumentando en un 10% el rendimiento de productos madereros de alto valor. Al mismo tiempo, un nuevo sistema de clasificación de calidad en el bosque optimizará la cadena de suministro de madera, reduciendo los costos de transporte y las emisiones de gases de efecto invernadero en un 5%. La ventaja competitiva de la industria forestal de la UE se fortalecerá mediante una mayor eficiencia y un mayor rendimiento de productos de alto valor, incrementando la proporción de madera aserrada de alta calidad del 20% al 22%.



El proyecto Sintetic también pone énfasis en el aspecto social, la sostenibilidad y la resiliencia al incorporar más de 1,000 hectáreas de pequeñas propiedades forestales abandonadas en una gestión activa, asegurando un uso tanto productivo como protector. Modelos de pronóstico mejorados guiarán los tratamientos silvícolas para fortalecer los servicios ecosistémicos, la salud de los bosques y el valor de la madera. Los esfuerzos para combatir la tala ilegal van a intentar reducir en un 15% la superficie de bosques talados ilegalmente en regiones de alto riesgo de la UE. Finalmente, el proyecto promueve la adopción generalizada de tecnologías digitales en la silvicultura, equipando a los operadores con habilidades especializadas y fomentando la educación para asegurar una industria moderna, con la capacidad de mejora que se obtienen de los datos.

A través de estos objetivos, el proyecto Sintetic intenta promover un sector forestal sostenible, eficiente y tecnológicamente avanzado que beneficie a la economía, el medio ambiente y la sociedad.

### 3. Metodología

El proyecto Sintetic desarrolla y demuestra una infraestructura digital flexible (Base de Datos Geoespacial) alimentada por un conjunto de proveedores de datos interconectados a través de un sistema de trazabilidad. Esta infraestructura ofrece varios servicios basados en: 1) adquisición de datos en múltiples plataformas a lo largo de todas las etapas de la cadena de suministro de la madera, incluida la industria de transformación de madera; 2) transmisión de datos con herramientas digitales seguras y códigos de identificación físicos en los productos de madera; y 3) almacenamiento, análisis y distribución de datos para generar servicios adicionales. Entre estos servicios se incluyen la certificación de productos, el control de la tala ilegal, la optimización de los modelos utilizados para inventarios de madera y monitoreo de la salud forestal, y la mejora de las predicciones sobre cómo reaccionan los árboles a los tratamientos silvícolas y las amenazas del cambio climático al relacionar los datos del bosque con los datos de cada tabla.



Mediante la base de datos geoespacial para la que se planea una conexión con la plataforma del Sistema de información de la EUDR se podrá administrar múltiples declaraciones mediante una API.

#### 4. Resultados

Los resultados que están siendo obtenidos dentro del proyecto son varios, aunque aún se están trabajando en mejorar y testear los primeros prototipos hay algunos de ellos que ya están operativos.

Para los sistemas de aprovechamientos más manuales, se están testando un conjunto de herramientas para el marcado manual de árboles y madera en rollo mediante tecnología RFID y óptica (troquelado). Estas tecnologías para trazabilidad están conectadas a una aplicación de un smartphone que, junto con sensores portátiles para la determinación de la calidad de la madera, proporcionan trazabilidad y clasificación a la madera.

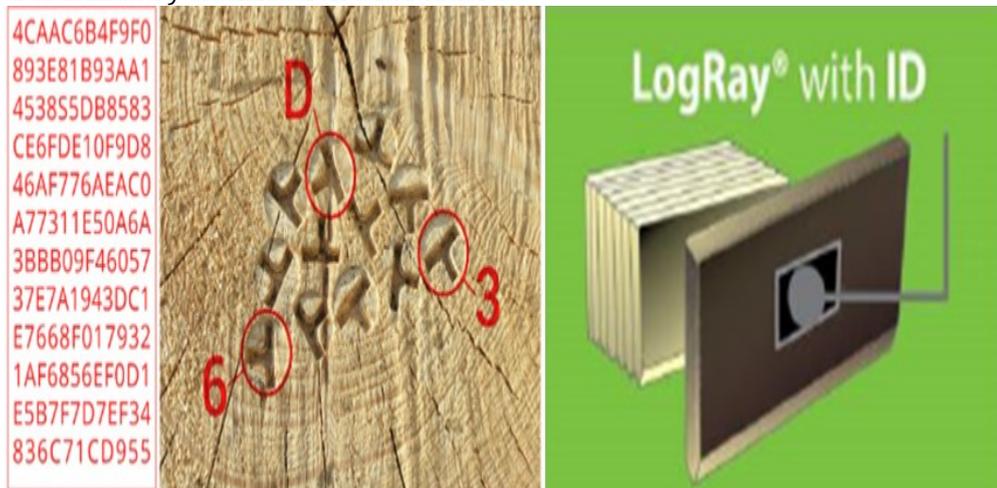


Figura 2 Sistema marcado por impacto y tecnología UHF RFID usados en el proyecto

Basándose en una aplicación de inventario forestal existente para smartphones equipados con LiDAR, se están desarrollando funcionalidades y mejoras, así como una nueva funcionalidad que mide los troncos/árboles talados manualmente y sugiere el tronzado óptimo (CTL) que está aún en fase de pruebas. Los datos se transmiten en formato StanForD a la geodatabase. El escaneo de los árboles en pie se realiza hasta los 5 m por limitaciones tecnológicas, con lo cual la estimación de los productos que se esperan obtener del bosque se realiza basadas en ecuaciones de conicidad a partir de 5 metros más la información obtenida hasta dicha altura. Para la parte de tronzado óptimo se realiza escaneando el árbol entero apeado una vez desramado.

Para aprovechamientos mecanizados, se está modificando un cabezal de procesadora que incluye un sistema de marcado mediante troquelado y/o RFID, así como sensores para medición de la calidad de madera para medir rigidez, rectitud, conicidad y el índice de ramosidad de la madera para obtener una primera clasificación de calidad desde el bosque.

Se está adaptando el sensor LiDAR a una máquina forestal para la detección de troncos y se está investigando sobre la posibilidad de tronzado óptimo en tiempo real (CTL), inventario de los árboles restantes, detección de deformaciones y previsión de enfermedades.

Se está desarrollando un sistema de rayos X/óptico para tablas de madera aserrada diseñado para i) medir la calidad de la madera aserrada y ii) relacionar cada tabla con el tronco original (madera en rollo) escaneado con tomografía 3D (CT Log scanner). Esta tecnología aparte de proporcionar el tamaño y la ubicación de cada defecto interno del tronco, permitiendo el optimizado de corte aumentando el valor obtenido en cada troza entre el 5% y el 20%, integrada con el sistema de trazabilidad de troquelado/RFID para troncos, permite relacionar el producto final (tablas) y sus propiedades con el árbol original, su posición en el árbol y todos los procesos realizados a lo largo de la cadena de valor forestal.

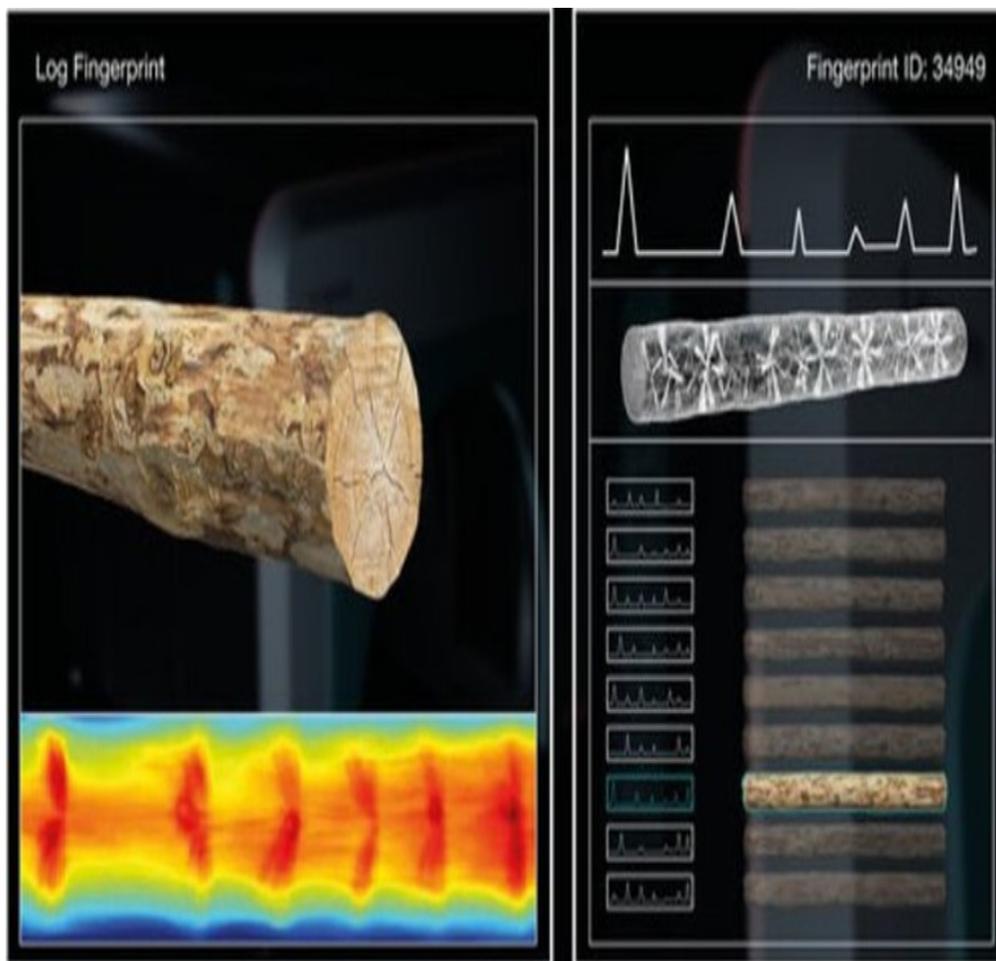
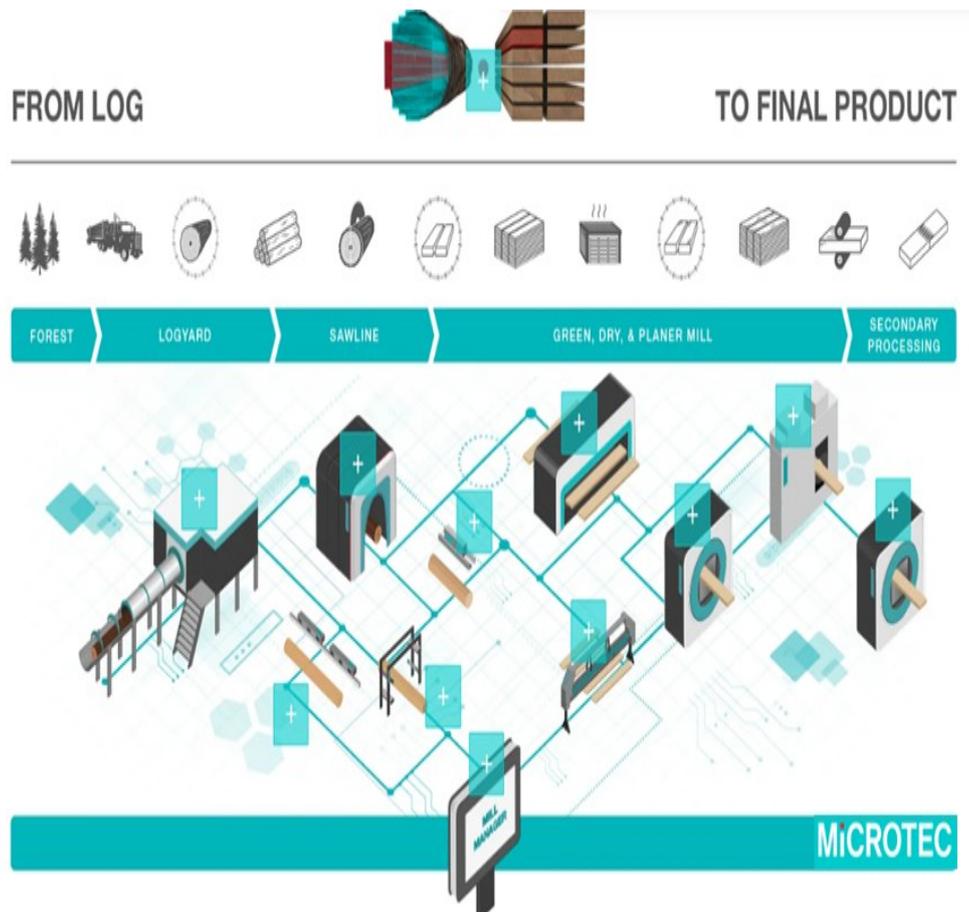


Figura 3 Troza escaneada y huella digital creada para su posterior trazabilidad



*Figura 4 Sistema de MiCROTEC para trazabilidad dentro del aserradero*

Se está realizando la detección automática de características asociadas a los cambios semanales de la cobertura forestal mediante el análisis de los conjuntos de datos obtenidos por satélites (Sistema Copernicus Sentinel 1&2), para ello se usa el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) y SAR de los satélites. Se utiliza machine learning para entrenar los modelos, se ha observado que la detección se mejora cuando se trabajan comparando ventanas móviles con las series históricas, en vez de pixel por pixel.

Se está subiendo la base de datos geoespacial sobre la base de la integración del inventario forestal y el planificador de cosechas para filtrar, mediante consultas espaciales, las operaciones legales y resaltar los cambios no planificados de la cobertura forestal donde se realizarán los controles.

Se está gestionando la agregación de bosques privados con el soporte de inventarios digitales armonizados donde en Italia ya se ha conseguido llegar a las 1000 ha agregadas y gestionadas de forma activa y se está intentado llegar al mismo número de ha agregadas en España. También mediante actividades se está involucrando a los propietarios de bosques y usuarios comunes en actividades de ciencia ciudadana para la provisión de servicios ecosistémicos (captura de carbono, calidad del aire/agua) y monitoreo y protección de bosques (por ejemplo, riesgos de enfermedades o incendios forestales).



Se está testeando la conexión mediante API al Sistema de información de la EUDR actualmente, lo que permitirá simplificar el proceso burocrático de diligencia debida.

Con base en las contribuciones y requisitos de todas las partes interesadas, desde el proyecto Sintetic se emitirá un documento técnico con recomendaciones de política que incluirá a) regulaciones sobre privacidad y propiedad de los datos, b) medidas para limitar la brecha digital (nivel inter e intra-regional), c) directrices para facilitar la adopción de herramientas digitales en el sector forestal y por todos los actores involucrados.

Se propondrá uno o más modelos de negocio alternativos para el sistema desarrollado y un análisis económico que respalde las condiciones para la sostenibilidad económica del sistema propuesto y los beneficios para todas las partes involucradas.

### 5. **Discusión**

Los resultados en el marcado manual mediante troquelado no están siendo los esperados y la ergonomía del producto actual no es la óptima, en la parte manual de momento para la trazabilidad se basa en el marcado mediante RFID y se está intentando basar en imágenes de alta resolución.

En el tronzado óptimo manual, de momento solo tiene en cuenta la conicidad y rectitud del árbol, se están intentando integrar parámetros de ramosidad.

La cosechadora forestal y su cabezal están modificados, pero aún queda testear todas las modificaciones integradas y funcionando juntas, por separado en condiciones controladas los resultados han sido prometedores.

La detección en tiempo real de los pies con las pruebas realizadas hasta el momento los resultados son prometedores, la siguiente fase es intentar obtener medidas morfológicas del árbol para poder proponer un tronzado óptimo.

El sistema de trazabilidad dentro del aserradero hasta la tabla final está bastante desarrollado y para la mayoría de los tablones funciona, el problema viene en los tablones de mayor valor que no poseen nudos o defectos aparentes en los que es más complicado su seguimiento por la ausencia de defectos. Para ello se está pensando en integrar información de anillos y dirección del grano. Actualmente se está logrando una trazabilidad superior al 90-96% sobre un volumen diario cercano a varios miles de trozas procesadas en el aserradero.

El sistema de detección de cortas ilegales y cuantificación en desastres está actualmente en fase de implementación y son necesarios aún más datos para



alimentar el algoritmo de detección.

La agregación de parcelas forestales está teniendo muy buena acogida en Italia donde ya se han logrado las 1000 ha de superficie agregada, en España se está llevando acabo el mismo proceso, Bluebiloba en este caso se ha aliado con Agresta para facilitar la difusión del proyecto en Galicia.

Respecto a los documentos técnicos se está redactando el primero, y respecto al coste de implementación de la trazabilidad propuesta en el proyecto aún no está claro ya que quedan todavía cosas por desarrollar. Aun así el proyecto está pensado para que se puedan contratar los sistemas de manera modular con lo que el coste no tiene porqué ser el mismo para toda la cadena de valor.

### 6. Conclusiones

Las conclusiones a destacar del proyecto Sintetic son los avances y logros alcanzados en la digitalización de la cadena de valor forestal, así como los beneficios potenciales para el sector forestal europeo. A continuación se presentan las principales conclusiones:

Mejora en la eficiencia y trazabilidad de la cadena de suministro forestal: La implementación de tecnologías digitales, como sensores LiDAR, RFID y sistemas ópticos, está permitiendo una trazabilidad precisa y en tiempo real de los productos forestales desde el árbol en pie hasta el producto final. Esto facilita la gestión de la madera de calidad, la optimización de los procesos y la reducción de costos en toda la cadena de suministro.

Optimización de la recuperación de valor de la madera: La integración de modelos avanzados para la medición y clasificación de la madera en función de su calidad, junto con la implementación de un sistema de marcado innovador, permite una mayor recuperación de valor de los productos madereros. La mejora de la estimación de volumen y valor de los rodales y árboles individuales, junto con la optimización de tronzado, incrementa la producción de madera de alto valor, beneficiando tanto a los propietarios de los bosques como a la industria de transformación.

Desarrollo de un sistema flexible adaptado a distintos contextos: El proyecto está creando una infraestructura digital flexible que se adapta a diferentes escenarios del sector forestal, desde áreas altamente mecanizadas hasta zonas con bajos niveles de mecanización y fragmentación forestal. Esto ha permitido desarrollar soluciones personalizadas para diferentes tipos de gestión forestal, facilitando la adopción de tecnologías avanzadas en áreas menos desarrolladas del sector.

Sostenibilidad y control de la tala ilegal: Sintetic contribuirá significativamente a mejorar la gestión sostenible de los recursos forestales mediante la detección de



variaciones de la cobertura forestal que pueden estar relacionadas con cortas ilegales a través de análisis de datos satelitales. Pero también puede usarse para cuantificación de daños tras desastres naturales. El sistema de trazabilidad y el uso de tecnologías avanzadas ayudarán a reducir la tala ilegal y promover prácticas forestales más responsables.

**Fomento de la participación y capacitación:** El proyecto está impulsando la participación activa de los propietarios de bosques y la comunidad en actividades de ciencia ciudadana, contribuyendo a la monitorización del estado de los bosques y la provisión de servicios ecosistémicos. Además, se está promoviendo la formación de los operadores forestales en el uso de herramientas digitales, lo que está facilitando la integración de nuevas tecnologías en el sector.

**Impacto positivo en la competitividad del sector forestal europeo:** La introducción de tecnologías digitales en la gestión forestal aumentará la competitividad de la industria forestal europea al mejorar la eficiencia operativa, la calidad del producto y la capacidad de adaptación a los cambios climáticos, a las nuevas demandas del mercado y a la simplificación de la burocracia.

## **7. Agradecimientos**

A la unión europea por el financiamiento recibido a través del programa Horizon Europe, así como a todos los partners del proyecto implicados. También quisiera dar las gracias a la gente que se interesa por el proyecto y propone retos a solucionar para que el trabajo que estamos realizando tenga una mayor aplicabilidad y utilidad.

## **8. Bibliografía**

FENG, Y.; AUDY, J.-F.; 2020. Forestry 4.0: A framework for the forest supply chain toward Industry 4.0. *Gest. Prod.* 27(4), e5677, doi:10.1590/0104-530x5677-20

LEBLON, B.; STIRLING, R.; 2015. Sensors in the Forest Products Industry. *Wood Mater. Sci. Eng.* 10(1), 1–2, doi:10.1080/17480272.2015.1017345

MÜLLER, F.; JAEGER, D.; HANEWINKEL, M.; 2019. Digitization in wood supply – A review on how Industry 4.0 will change the forest value chain. *Comput. Electron. Agric.* 162, 206-218, doi:10.1016/j.compag.2019.04.002

MURPHY, G.; CLARK, J. A.; PILKERTON, S. J.; 2012. Current and Potential Tagging and Tracking Systems for Logs Harvested from Pacific Northwest Forests. *West. J. Appl. For.* 27(2), 84–91, doi:10.5849/wjaf.11-027

PICCHI, G.; 2020. Marking Standing Trees with RFID Tags. *Forests* 11(2), 150, doi:10.3390/f11020150

PICCHIO, R.; PROTO, A. R.; CIVITARESE, V.; CIVITARESE, V.; DI MARZIO, N.; LATTERINI, F.; 2019. Recent Contributions of Some Fields of the Electronics in Development of Forest Operations Technologies. *Electron.* 8(12), 1465, doi:10.3390/electronics8121465

