CONAMA 2026

Restos técnicos y operativos en la ejecución de tratamientos selvícolas experimentales en pinares mediterráneos

Lessons learnt LIFE TOKEN CO2

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: Laura Hita Esquer. Técnico Forestal. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Otros Autores: Ana Martínez-Fortún Sánchez-Vizcaino. Jefa Estudios y Proyectos. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Eric Valero Alfara. Técnico Forestal. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Jose Luis Durán. Jefe de Servicios e Innovación. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Víctor Fabregat Tena. Responsable de Innovación. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Índice

1. Introducción 4

1.1. LIFE TOKEN CO2 4

2. Condicionantes técnicos, administrativos y ambientales 7

2.1. Adaptación del diseño experimental 7

2.2. Convertir emplazamientos técnicamente aptos en superficies realmente disponibles 8

2.3. Compatibilizar autorizaciones y periodos de trabajo con el calendario del experimento 8

2.4. Ejecución y registro de la intervención forestal 9

3. Resultados y lecciones aprendidas 10

4. Recomendaciones y conclusiones 12

4.1. Criterios para futuras experiencias 12

4.2. Conclusiones 12

5. Bibliografía 13

1. Introducción

En las masas mediterráneas de pino carrasco (*Pinus halepensis*), la elevada competencia por la luz, el agua y los nutrientes puede condicionar el crecimiento y la respuesta del arbolado a la sequía. Las claras y otros tratamientos de reducción de densidad modifican la estructura del rodal y la distribución de recursos, pero sus efectos sobre el balance de carbono no son inmediatos ni necesariamente uniformes: deben interpretarse considerando la biomasa extraída, la evolución del arbolado remanente y el horizonte temporal de observación. Los trabajos en pinares mediterráneos aportan antecedentes sobre respuestas al aclareo, crecimiento y eficiencia en el uso del agua (Manrique-Alba et al., 2020).

Existen antecedentes internacionales que han abordado la integración de distintas tecnologías para estudiar el comportamiento del carbono en ecosistemas forestales. En el bosque semiárido de Yatir (Israel), formado principalmente por *Pinus halepensis*, se desarrolló una investigación que combinó imágenes satelitales, teledetección mediante drones y mediciones *Eddy Covariance* para analizar la productividad forestal. El estudio puso de manifiesto la influencia de la cobertura arbórea y la orientación del terreno sobre la variabilidad espacial de la productividad, así como la importancia de evaluar la representatividad de las mediciones realizadas desde una torre de flujo (Wang et al., 2023).

El **proyecto europeo LIFE TOKEN CO2** plantea medir y modelizar esa respuesta mediante la combinación de tratamientos forestales, imágenes de observación de la Tierra, caracterización de la masa y estaciones micrometeorológicas. En consecuencia, las zonas donde se ejecutan las actuaciones no son solamente superficies de trabajo: deben satisfacer los requisitos del diseño científico y permanecer identificables durante el seguimiento posterior. Esta exigencia convierte decisiones habituales en una intervención forestal (delimitación, acceso, calendario o cambio de emplazamiento) en decisiones relevantes para la calidad del experimento.

1.1. LIFE TOKEN CO2

LIFE TOKEN CO2 es un proyecto cofinanciado por el programa LIFE de la Unión Europea. Su planteamiento parte de un problema de aplicación práctica: **para que la gestión forestal pueda relacionarse** de forma rigurosa **con beneficios climáticos y con sistemas de compensación**, resulta necesario disponer de métodos de estimación, datos de seguimiento y mecanismos de trazabilidad que permitan vincular las actuaciones ejecutadas con la respuesta observada del ecosistema. No basta con acreditar una actuación forestal o que la densidad ha disminuido; interesa conocer qué evolución experimenta la masa y bajo qué condiciones puede atribuirse un determinado cambio al tratamiento.

La finalidad del proyecto combina, por tanto, una vertiente científica y otra tecnológica. La primera se orienta a validar un modelo capaz de estimar la absorción de CO2 en masas forestales y analizar cómo puede cambiar tras actuaciones selvícolas. La segunda persigue integrar esa información en

una plataforma digital sobre el ciclo de vida del carbono, con herramientas para registrar, contrastar y dar trazabilidad a los datos y a las actuaciones vinculadas a la gestión sostenible.

Desde la perspectiva de esta comunicación, el papel de **ORTHEM** es particularmente relevante porque le corresponde materializar sobre el terreno los tratamientos previstos y adaptar su ejecución a las condiciones reales de cada área. **La lógica de investigación se apoya en comparar información de la estructura forestal y del intercambio de CO2 en distintas condiciones de gestión.** La teledetección aporta observaciones sobre extensiones amplias y permite repetir las mediciones a lo largo del tiempo; los inventarios y técnicas como LiDAR contribuyen a caracterizar la vegetación y su estructura.

El otro componente científico esencial son las estaciones *Eddy Covariance*, empleadas para medir intercambios turbulentos de CO_2 y vapor de agua entre la vegetación y la atmósfera. A diferencia de un inventario de biomasa, que caracteriza existencias de carbono en un momento dado, estas estaciones permiten observar flujos a lo largo del tiempo. La superficie que influye sobre cada medida (la huella de flujo o *footprint*) depende del viento y de las condiciones micrometeorológicas, por lo que no se identifica automáticamente con una parcela de límites fijos. Esta característica obliga a estudiar la relación entre emplazamiento del equipo, continuidad de la cubierta y extensión del tratamiento (Schmid, 2002).

El componente de demostración forestal se desarrolla en seis áreas experimentales de *Pinus halepensis* situadas en Castilla-La Mancha, la Comunitat Valenciana y la Región de Murcia. Entre las localizaciones de las actuaciones figuran Chinchilla y Yeste, en Albacete; La Hunde, en Ayora (Valencia); y Mula y Moratalla (Región de Murcia). Las zonas presentan diferencias de densidad, estructura y características ambientales, por lo que ofrecen situaciones de intervención distintas, aunque todas deben reunir condiciones compatibles con el diseño de seguimiento. Las actuaciones consisten en tratamientos de reducción de competencia, con selección y apeo de arbolado y tratamiento del material vegetal derivado.

La importancia de evaluar la respuesta de las masas forestales después de los tratamientos se refleja también en investigaciones desarrolladas en otros contextos climáticos. En un bosque boreal de coníferas del sur de Finlandia, se analizaron los efectos de una clara sobre los intercambios de CO_2 mediante mediciones *Eddy Covariance* y modelización ecosistémica. Los resultados mostraron que, durante el año de la intervención, el bosque pasó temporalmente de sumidero a fuente neta de carbono, observándose una recuperación posterior de su función como sumidero. Este antecedente evidencia la necesidad de mantener un seguimiento temporal de los tratamientos, ya que sus efectos sobre el balance de carbono pueden variar durante las distintas fases de respuesta del ecosistema (Aslan et al., 2024).

Los trabajos de **ORTHEM** se sitúan en el punto de encuentro entre esas exigencias científicas y una operación selvícola real: comprobar la aptitud del terreno, acceder con los equipos, ejecutar el tratamiento definido y registrar lo realizado. La **dimensión territorial** del ensayo introduce, además, propietarios y regímenes administrativos diferentes. Una ubicación puede ser apropiada por su vegetación y, al mismo tiempo, resultar inviable por falta de disponibilidad, por condiciones de acceso o por las limitaciones temporales de intervención. **Estas dificultades no son periféricas: influyen en la posibilidad de construir una muestra experimental coherente.**

Así, LIFE TOKEN CO2 no es únicamente un ensayo de claras ni exclusivamente una herramienta de créditos de carbono. Es una experiencia de integración entre gestión forestal, medición ambiental y sistemas digitales. La aportación específica de esta comunicación es examinar qué ocurre en la fase menos visible de esa integración: la transformación del protocolo experimental en actuaciones ejecutables en el monte.

2. Condicionantes técnicos, administrativos y ambientales

2.1. Adaptación del diseño experimental

El primer cambio de alcance afectó al diseño espacial. La propuesta inicial se articulaba en 18 rodales de 10 ha, mientras que la configuración finalmente adoptada pasó a seis áreas experimentales de aproximadamente 30 ha. La superficie nominal conjunta continuaba alrededor de las 180 ha, pero la reorganización exigió encontrar unidades mayores y con una continuidad territorial suficiente. El cambio, por tanto, no consistió solamente en multiplicar por tres el tamaño de los recintos; obligó a volver sobre los criterios de selección y delimitación de las masas.

Había dos razones técnicas vinculadas a la forma de medir. En primer lugar, al trabajar con imágenes satelitales resulta necesario que la señal observada represente suficientemente la cubierta objeto del estudio, reduciendo la influencia de bordes, pistas, claros u otras superficies próximas; la resolución espacial condiciona esta posibilidad (Pettorelli et al., 2014). En segundo lugar, las estaciones Eddy Covariance registran intercambios originados en un área de influencia variable, que puede cambiar con la dirección y velocidad del viento y otras condiciones atmosféricas (Schmid, 2002). Disponer de áreas de mayor extensión permite plantear una zona de amortiguación alrededor del punto de medida, aunque no elimina la necesidad de analizar la contribución real de la huella de flujo (Kljun et al., 2015).

Desde la ejecución, la consecuencia inmediata fue la necesidad de localizar masas con superficie disponible, suficiente uniformidad y características forestales adecuadas. La distribución de actuaciones dejó de depender solo de la densidad de los árboles o de la conveniencia operativa y pasó a estar condicionada por la posición de los dispositivos de observación. Asimismo, al modificar el número de áreas se hace especialmente importante que el protocolo investigador establezca de forma expresa qué se considera unidad experimental y cómo se resuelve la independencia de observaciones; no puede asumirse que un conjunto de registros dentro de una misma área equivalga a réplicas independientes (Hurlbert, 1984).

Cuadro 1. Evolución conceptual del diseño experimental

Variable	Diseño inicial	Diseño adaptado
Unidades de intervención	18 rodales	6 áreas experimentales
Superficie aproximada por unidad	10 ha	30 ha
Superficie nominal conjunta	180 ha	180 ha
Criterio de delimitación	Unidades menores y más dispersas	Áreas de mayor continuidad y amortiguación

Por lo tanto, la lección aprendida fue que antes de cerrar la selección de terrenos deben definirse conjuntamente los límites espaciales del tratamiento, los requisitos de las herramientas de medida y los criterios de homogeneidad del entorno. De lo contrario, una modificación aparentemente científica puede obligar a rehacer parte del trabajo preparatorio sobre el terreno.

2.2. Convertir emplazamientos técnicamente aptos en superficies realmente disponibles

La elección de una masa de *Pinus halepensis* adecuada no aseguró en todos los casos su utilización. Durante el proyecto surgieron cambios de criterio de determinados propietarios y fue preciso descartar o sustituir emplazamientos seleccionados inicialmente porque no reunían finalmente las condiciones necesarias. El rediseño hacia áreas más amplias acentuó esta dificultad: cuanto mayor es la superficie requerida, más exigente resulta compatibilizar la continuidad de la masa, la delimitación del ensayo y la disponibilidad de los terrenos.

La respuesta consistió en revisar emplazamientos y recurrir a alternativas que permitiesen mantener las condiciones básicas del estudio. Esta sustitución tenía un doble efecto. En el ámbito forestal obligaba a reconocer y organizar una nueva superficie de actuación; en el científico exigía comprobar que las características del nuevo emplazamiento seguían siendo comparables con las del conjunto del ensayo. No era suficiente contar con el acuerdo de la propiedad, del mismo modo que tampoco lo era cumplir un criterio de densidad forestal sin disponer de autorización o acceso efectivo.

El aprendizaje es que la validación territorial debe realizarse de forma integrada. La aptitud selvícola, las dimensiones disponibles, los requisitos de medición y el compromiso de la propiedad forman parte de una misma decisión. Como medida preventiva transferible, resulta razonable disponer de emplazamientos alternativos evaluados con criterios equivalentes antes de fijar definitivamente el calendario; se propone aquí como criterio de mejora, no como procedimiento uniforme acreditado en todas las áreas.

2.3. Compatibilizar autorizaciones y periodos de trabajo con el calendario del experimento

La distribución de los tratamientos en tres comunidades autónomas implicó tramitar las actuaciones conforme a las competencias y condiciones aplicables en cada territorio. A esta exigencia se

añadieron limitaciones de calendario vinculadas al riesgo de incendios forestales. Ambos condicionantes afectaron a la capacidad de programar maquinaria, personal y operaciones en las fechas inicialmente contempladas.

En una intervención forestal ordinaria, el desplazamiento de una actuación puede repercutir principalmente en la planificación de medios. En este caso también debía considerarse su relación con el calendario de mediciones y con el momento en que se observase la respuesta del bosque. Por ello, la reprogramación de trabajos se coordinó con los responsables del seguimiento científico, buscando que las modificaciones operativas no impidiesen conocer con claridad cuándo había tenido lugar cada intervención.

La dificultad no se resolvía simplemente añadiendo más días al cronograma: había que relacionar la disponibilidad de superficies, la tramitación, los periodos permitidos de ejecución y los compromisos de medición. Para futuras experiencias, el aspecto más útil es incorporar estas restricciones desde la programación inicial y registrar cualquier desplazamiento relevante de fechas. Sin una cronología fiable de los tratamientos, la comparación temporal de los datos ambientales puede resultar difícil de interpretar.

2.4. Ejecución y registro de la intervención forestal

Una vez confirmadas las áreas, **ORTHEM** debía llevar a cabo las labores de reducción de competencia con los medios y la secuencia propios de una operación selvícola: acceso, reconocimiento de los límites, selección y apeo del arbolado y gestión de los restos vegetales. El interés experimental hacía especialmente importante conservar la correspondencia entre superficie prevista, superficie realmente intervenida y momento de ejecución. Una delimitación inequívoca y un registro de actuaciones resultan imprescindibles para conocer qué tratamiento antecede a las mediciones posteriores.

La aplicación de trazabilidad desarrollada *LIFE TOKEN CO2 tool* permite asociar a las actuaciones fotografías, fecha y posición GPS. Este registro responde a una necesidad práctica: reconstruir el trabajo ejecutado sin depender únicamente de memorias posteriores o descripciones generales. Su valor reside en identificar cada actuación y situarla espacial y temporalmente; no debe confundirse con una validación automática de toneladas de carbono absorbidas.

La conexión entre ejecución y seguimiento exige asimismo que las modificaciones significativas de límites, tratamientos o fechas se comuniquen a quienes analizan los resultados. Mantener identificadores estables para las áreas y conservar las versiones de sus delimitaciones constituye una recomendación operativa derivada de la experiencia, coherente con los principios de seguimiento ecológico de largo plazo (Lindenmayer y Likens, 2010).

3. Resultados y lecciones aprendidas

El principal resultado desde el punto de vista de la ejecución es la materialización del diseño adaptado mediante actuaciones en seis áreas experimentales de *Pinus halepensis*. Las intervenciones proporcionan la base física sobre la que continuar el seguimiento de la respuesta forestal y del intercambio de carbono; no equivalen, por sí mismas, a una demostración cuantitativa de absorción adicional. Los indicadores finales de carbono requieren el análisis posterior de las mediciones y su comparación con las condiciones de referencia.

En términos de gestión, la experiencia aporta aprendizajes relevantes sobre la compatibilidad entre el diseño experimental y la ejecución forestal. El siguiente cuadro sintetiza los retos descritos y la respuesta que permitió abordarlos, sin atribuir a cada caso magnitudes, plazos o costes que no han sido documentados.

Cuadro 2. Relación entre retos, respuestas y aprendizajes transferibles

Reto	Diseño inicial	Diseño adaptado
Requisitos de medición	Rediseño de 18 rodales de 10 ha a seis áreas de 30 ha	Verificar desde el inicio la compatibilidad espacial entre tratamientos y sensores.
Disponibilidad y propiedad	Revisión y sustitución de emplazamientos	La idoneidad científica no sustituye a la viabilidad de acceso y actuación.
Heterogeneidad de las masas	Reevaluación de homogeneidad, densidad y estructura	Disponer de criterios comparables para validar ubicaciones alternativas.
Autorizaciones y riesgo de incendios	Adaptación del calendario de trabajo	Integrar permisos y ventanas de ejecución en el cronograma científico.
Seguimiento posterior	Coordinación entre ejecución y equipos científicos	Documentar los cambios para garantizar la interpretación de las mediciones.

El hilo común entre todos estos retos es que la ejecución selvícola experimental no puede gestionarse como una sucesión aislada de tareas forestales. Su eficacia depende de la continuidad entre cuatro procesos: selección territorial, validación científica, intervención operativa y seguimiento a lo largo del tiempo. Las desviaciones detectadas en una fase pueden comprometer las siguientes si no existe una estructura de coordinación capaz de resolverlas (Lindenmayer y Likens, 2010).

Las lecciones descritas son resultados de gestión y de puesta en práctica del ensayo; no equivalen a resultados concluyentes sobre fijación adicional de carbono. La técnica *Eddy Covariance*

cuantifica intercambios netos entre el ecosistema y la atmósfera bajo determinadas condiciones de medición y tratamiento de datos; por tanto, su interpretación climática exige considerar el periodo estudiado, los criterios de calidad, las fuentes de incertidumbre y el análisis posterior (Baldocchi, 2003). Mantener separadas ambas clases de resultado mejora la claridad de la comunicación y evita atribuciones prematuras a los tratamientos.

4. Recomendaciones y conclusiones

4.1. Criterios para futuras experiencias

A partir de lo observado, se identifican cinco recomendaciones principales para proyectos de selvicultura experimental que integren teledetección, estaciones de flujo y trabajos en campo:

1. Confirmar conjuntamente el diseño científico y la viabilidad material de los terrenos antes de fijar la programación definitiva.

2. Definir desde el principio necesidades de superficie, homogeneidad y zonas de amortiguación vinculadas al sistema de medición.

3. Disponer de emplazamientos alternativos evaluados con criterios técnicos equivalentes a los inicialmente elegidos.

4. Incorporar permisos, riesgo de incendios y condiciones de acceso como restricciones reales del calendario de ejecución.

5. Mantener un registro espacial y temporal verificable de los trabajos y de las modificaciones introducidas.

4.2. Conclusiones

La experiencia de LIFE TOKEN CO2 demuestra que el desarrollo de ensayos selvícolas en pinares mediterráneos implica una interdependencia estrecha entre la concepción científica y la operativa forestal. El cambio de 18 rodales de aproximadamente 10 ha a seis áreas de unas 30 ha ejemplifica cómo los requerimientos de teledetección y *Eddy Covariance* pueden determinar las dimensiones y características de la intervención. A ello se añaden condicionantes menos visibles en los diseños iniciales, pero decisivos para la ejecución: el acuerdo con la propiedad, la idoneidad real de los terrenos, la gestión de autorizaciones y las restricciones temporales asociadas al riesgo de incendios. La necesidad de revisar emplazamientos y calendarios puso de relieve la utilidad de una planificación flexible y de una coordinación continuada entre las entidades participantes.

La lección fundamental es que la viabilidad de un tratamiento forestal experimental no depende exclusivamente de definir correctamente qué se va a ejecutar, sino también de asegurar dónde, cuándo, cómo y bajo qué condiciones se ejecuta y se mide. Esta integración es indispensable para que los resultados del seguimiento sean comparables y puedan aportar criterios aplicables a futuras actuaciones de gestión forestal sostenible.

5. Bibliografía

[1] Aslan, T., Launiainen, S., Kolari, P., Peltola, O., Aalto, J., Bäck, J., Vesala, T., & Mammarella, I. (2024). Thinning turned boreal forest to a temporary carbon source – Short term effects of partial harvest on carbon dioxide and water vapor fluxes. Agricultural and Forest Meteorology, 353, 110061. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110061

[2] Baldocchi, D. D. (2003). Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future. *Global Change Biology, 9*(4), 479–492. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00629.x

[3] Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs, 54*(2), 187–211. https://doi.org/10.2307/1942661

[4] Kljun, N., Calanca, P., Rotach, M. W., & Schmid, H. P. (2015). A simple two-dimensional parameterisation for flux footprint prediction (FFP). *Geoscientific Model Development, 8*, 3695–3713. https://doi.org/10.5194/gmd-8-3695-2015

[5] Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2010). The science and application of ecological monitoring. *Biological Conservation, 143*(6), 1317–1328. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.013

[6] Manrique-Alba, À., Beguería, S., Molina, A. J., González-Sanchis, M., Tomàs-Burguera, M., del Campo, A. D., Colangelo, M., & Camarero, J. J. (2020). Long-term thinning effects on tree growth, drought response and water use efficiency at two Aleppo pine plantations in Spain. *Science of the Total Environment, 728*, 138536. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138536

[7] Schmid, H. P. (2002). Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: A review and perspective. *Agricultural and Forest Meteorology, 113*(1–4), 159–183. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00107-7

[8] Wang, H., Yakir, D., & Rotenberg, E. (2023). Assessing the effectiveness of a central flux tower in representing the spatial variations in gross primary productivity in a semi-arid pine forest. Agricultural and Forest Meteorology, 333, 109415. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109415

CONAMA 2026