



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-2048

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

Organiza





Observatorio de Cambio Global para el Bosque Mediterráneo: digitalización y datos abiertos para la sostenibilidad de los ecosistemas mediterráneos

GUILLERMO PALACIOS-RODRIGUEZ¹, RAFAEL M. NAVARRO-CERRILLO², MIGUEL ÁNGEL LARA-GÓMEZ^{1,3}

1. Observatorio del Cambio Global en el Bosque Mediterráneo, Laboratorio de Digitalización y Desarrollo en Ecosistemas Forestales, DigiFoR+-ERSAF, Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, Crta. IV km. 396, Córdoba, 14071, Spain
2. Laboratorio de Dendrocronología, Selvicultura y Cambio Global – DendrodatLab – ERSAF, Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, Crta. IV, km. 396, E-14071 Cordoba, Spain
3. IDAF- Centro de Investigaciones Aplicadas al Desarrollo Agroforestal, Parque Científico y Tecnológico Rabanales 21, Córdoba, 14014, España

Resumen

El Observatorio de Cambio Global para el Bosque Mediterráneo (OBM), es una iniciativa en el marco del proyecto LifeWATCH INDALO para la monitorización y evaluación de los impactos del cambio climático en los ecosistemas mediterráneos. Su principal objetivo es comprender cómo el cambio global afecta a las dinámicas de estos ecosistemas para el diseño de estrategias de gestión que garanticen su sostenibilidad ambiental, social y económica.

El OBM ha sido impulsado por grupos de investigación multidisciplinares de la Universidad de Córdoba y cuenta con una red de sensores que recopilan una importante diversidad de datos incluyendo información sobre clima, hidrología, fisiología, fenología o flujos, entre otros. Esta información es almacenada en servidores y se integra en un gemelo digital, estando disponible para la comunidad científica que quiera contribuir al diseño de estrategias de gestión y adaptación de los ecosistemas mediterráneos.

Esta iniciativa fomenta la cooperación entre científicos, gestores forestales y responsables de políticas públicas, facilitando la toma de decisiones informadas para la gestión sostenible de los bosques mediterráneos. En este sentido, el observatorio proporciona información clave para desarrollar medidas que mitiguen los efectos del cambio climático, mejoren la resiliencia de los ecosistemas y promuevan su conservación a largo plazo.

Palabras clave

Digitalización, Selvicultura adaptativa, Ciencia abierta, Adaptación al cambio climático, Gemelos digitales

1. Introducción

El cambio global, que engloba el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y las alteraciones antropogénicas, plantea uno de los mayores desafíos para la sostenibilidad de los ecosistemas mediterráneos. Estos ecosistemas, fundamentales por su riqueza biológica y su contribución socioeconómica, enfrentan una vulnerabilidad significativa debido a su ubicación en una región de transición climática y a la creciente presión humana (Peñuelas & Sardans, 2021). En este



contexto, la monitorización de los procesos y dinámicas ecosistémicas y la implementación de estrategias de gestión adaptativa se vuelven esenciales para mitigar los impactos del cambio global y asegurar la resiliencia de estos sistemas.

El proyecto LifeWatch INDALO “Infraestructuras Científicas para la Vigilancia y Adaptación al Cambio Global en Andalucía” (LIFEWATCH-2019-04-AMA-01), representa una respuesta innovadora a estos desafíos. LifeWatch INDALO es un proyecto coordinado por Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía (AMAYA) en el que participan todas las universidades públicas andaluzas, así como otros organismos públicos de investigación, como el Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial (INTA) o Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA). El objetivo principal del proyecto LifeWatch INDALO es desarrollar sistemas de monitorización de la biodiversidad y procesos de cambio global en Andalucía, a través de la Red de Observatorios de Cambio Global en Andalucía.

Las iniciativas desarrolladas en el marco del proyecto LifeWatch INDALO, forman parte del LifeWatch ERIC (European Research Infrastructure Consortium), una infraestructura de investigación europea dedicada al monitoreo de la biodiversidad y los ecosistemas. Su misión es proporcionar recursos, servicios y herramientas avanzadas para la investigación y la gestión de la biodiversidad y los ecosistemas, mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC). LifeWatch ERIC integra y ofrece acceso a datos, herramientas de análisis y servicios en línea para científicos, gestores del territorio y responsables de políticas, promoviendo la investigación interdisciplinaria y colaborativa (LifeWatch ERIC, 2020). LifeWatch ERIC se basa en una filosofía de datos científicos abiertos, bajo el principio de que los datos científicos deben ser accesibles, reutilizables y compartidos libremente para fomentar la transparencia, la colaboración y el avance del conocimiento. Esta filosofía se alinea con las políticas de ciencia abierta promovidas por la Unión Europea y otros organismos internacionales (European Commission, 2018; LifeWatch ERIC, 2021). Los elementos clave incluyen:

1. **Accesibilidad:** Garantizar que los datos estén disponibles públicamente a través de plataformas digitales, como repositorios en línea y portales de.
2. **Interoperabilidad:** Utilizar estándares y formatos comunes para que los datos puedan integrarse fácilmente con otras fuentes de datos y ser reutilizados en diferentes contextos científicos.
3. **Reutilización:** Promover la reutilización de los datos en múltiples estudios y aplicaciones, evitando la duplicación de esfuerzos y maximizando el valor de los datos existentes.
4. **Facilitar el acceso a los métodos y metadatos asociados con los conjuntos de datos para que los usuarios puedan entender el contexto y las condiciones bajo las cuales se recopilaron y analizaron los datos.**
5. **Colaboración:** Fomentar la colaboración entre científicos, gestores y otros interesados para compartir conocimientos y recursos, impulsando la innovación y la eficiencia en la investigación de la biodiversidad.

El Observatorio de Cambio Global para el Bosque Mediterráneo (OBM), ubicado en la Sierra Morena cordobesa y coordinado por la Universidad de Córdoba, es una de las iniciativas de investigación y monitoreo del cambio global puesta en marcha a través del proyecto LifeWatch INDALO.



Sierra Morena es uno de los enclaves más destacados de biodiversidad en la Región Biogeográfica Mediterránea, albergando ecosistemas de gran valor ecológico dentro de los Parques Naturales de Sierra de Aracena y Picos de Aroche (Huelva), Sierra Norte de Sevilla (Sevilla), Sierra de Hornachuelos (Córdoba), Sierra de Cardena y Montoro (Córdoba), y Sierra de Andújar (Jaén), además de numerosos espacios integrados en la Red Natura 2000 (Blanca et al., 2000). Sin embargo, a pesar de la extraordinaria riqueza en flora, fauna y hábitats, Sierra Morena ha experimentado históricamente una intensa presión antrópica que ha resultado en una significativa fragmentación de sus ecosistemas naturales y una explotación considerable de gran parte de su territorio. Estas presiones se ven agravadas por los actuales procesos de cambio global, como el cambio climático, la degradación de hábitats, el incremento de riesgos como incendios forestales y la proliferación de especies invasoras, lo que amenaza la conservación de especies y hábitats, incluso en áreas con altos niveles de protección. Por lo tanto, es imprescindible el desarrollo de nuevas estrategias de gestión de los recursos naturales que aseguren la resiliencia, resistencia o transición de los bosques mediterráneos, garantizando así su sostenibilidad a largo plazo.

2. **Objetivos** El Observatorio de Cambio Global para el Bosque Mediterráneo (OBM), junto al resto de Observatorios de Cambio Global propuestos en el proyecto LifeWatch INDALO, vienen a complementar la actual Red Andaluza de Observatorios del Cambio Global (Sierra Nevada, Doñana, Área del Estrecho y Parque Natural Cazorla, Segura y Las Villas). Aumentar esta red de observatorios y promover su coordinación es fundamental tanto para la mejora del conocimiento científico sobre los efectos del cambio global en nuestros ecosistemas, como para el desarrollo de estrategias de gestión de los recursos naturales que garanticen su sostenibilidad ambiental, económica y social en el futuro. El OBM integra una extensa red de sensores en áreas estratégicas para el seguimiento de los ecosistemas mediterráneos, que generan datos en tiempo real sobre variables clave como el clima, la hidrología, la fisiología vegetal, la fenología y los flujos de carbono y agua. Al proporcionar un sistema de monitoreo integral, el OBM facilita la identificación de patrones y tendencias que afectan a los ecosistemas mediterráneos bajo el estrés del cambio global. Los datos generados son organizados, estandarizados, verificados y posteriormente puestos a disposición de la comunidad científica y las entidades de gestión, a través de un repositorio de datos, permitiendo el acceso a la información y fomentando la colaboración entre investigadores, gestores forestales y responsables de políticas públicas. La filosofía de datos científicos abiertos del OBM permite que estos actores diseñen y ajusten estrategias de gestión basadas en evidencia científica, lo cual es fundamental para la toma de decisiones informadas en un contexto de cambio climático. Además, el uso de gemelos digitales, que replican virtualmente los ecosistemas monitorizados, permite simular diferentes escenarios futuros y evaluar posibles impactos de estrategias de gestión antes de su implementación. Los objetivos de investigación del OBM van dirigidos al seguimiento del efecto de la gestión forestal sobre los procesos ecológicos de estos ecosistemas en un entorno de Cambio Global, como herramienta de apoyo al diseño de una selvicultura adaptativa y de mitigación de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas mediterráneos. Es por ello que también se han desarrollado varias aplicaciones de exploración de datos dasométricos masivos, que permitan a

los gestores el análisis de diversas variables de inventario y el uso orientado a la toma de decisiones selvícolas.

3. Metodología

El OBM ha implementado una metodología integral que combina tecnologías avanzadas de sensores con plataformas digitales para la recopilación y análisis de datos para la obtención, recopilación y procesado de datos científicos de interés para el seguimiento del cambio global en el Bosque Mediterráneo. Se han desplegado múltiples tipos de sensores en diversas ubicaciones del bosque mediterráneo para medir variables climáticas, hidrológicas y biológicas. Estos sensores están conectados a una red centralizada que permite la transmisión de datos en tiempo real a un repositorio de datos abiertos.

El OBM se encuentra localizado en la Finca Las Monteras (UTM X305620, Y4217712, Huso 30 EPSG 25830 / 5°12'54"W, 38°5'15"N) en el Término Municipal de Villanueva del Rey, Córdoba, así como sus parcelas de monitoreo, localizadas y señalizadas en la Figura 1. Esta finca forestal la conforman de un grupo de montes de titularidad pública (Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente, Junta de Andalucía) gestionados por la Agencia de Medio Ambiente y Agua (AMAYA) de la Junta de Andalucía. Cuenta con una superficie de 5.903 ha y las principales unidades de vegetación corresponden a masas de monte alto de *Quercus ilex* (30%), pinares de repoblación de *Pinus pinea* (26%) y masas mixtas de *Pinus* spp. y *Quercus* spp. (24%).

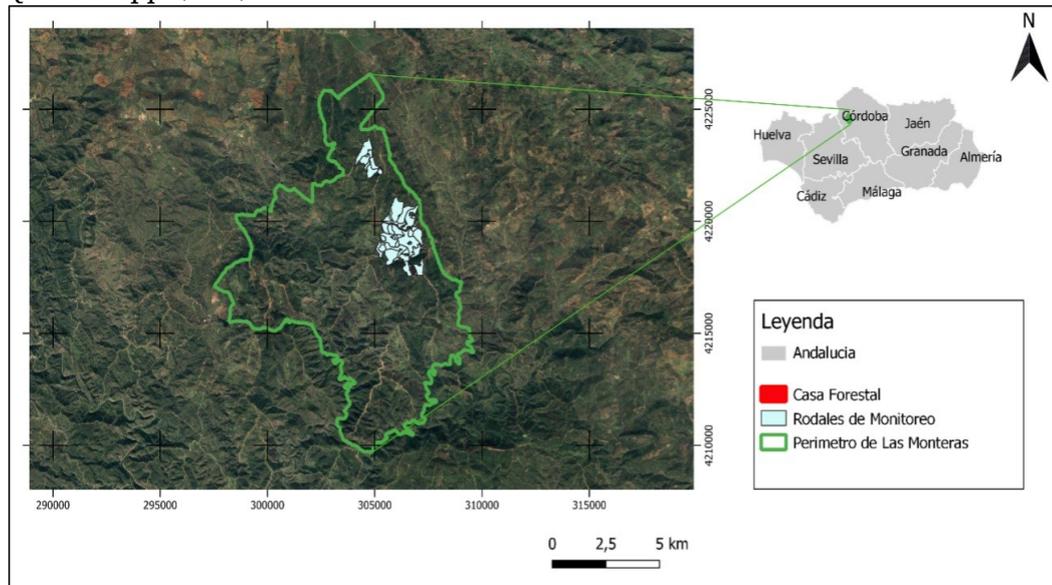


Figura 1: Mapa de localización de la infraestructura de investigación (parcelas de monitoreo) del OBM en la Finca Las Monteras (T.M. Villanueva del Rey, Córdoba).

Las parcelas de monitoreo se sitúan en unidades de vegetación de pinares de repoblación, cubriendo un gradiente selvícola en función de las intervenciones que han tenido, siendo a) repoblación de *P. pinea* sin tratamientos selvícolas (fase de estancamiento), b) repoblación de *P. pinea* con claras recientes (fase de expansión), y c) masa mixta de *P. pinea* y *Q. ilex* tras claras antiguas (fase de estabilización) (Figura 2). También se incluyen parcelas de monitoreo en zonas de bosque mediterráneo natural o naturalizado (d) aledañas a las parcelas de monitoreo anteriores (Figura 2).

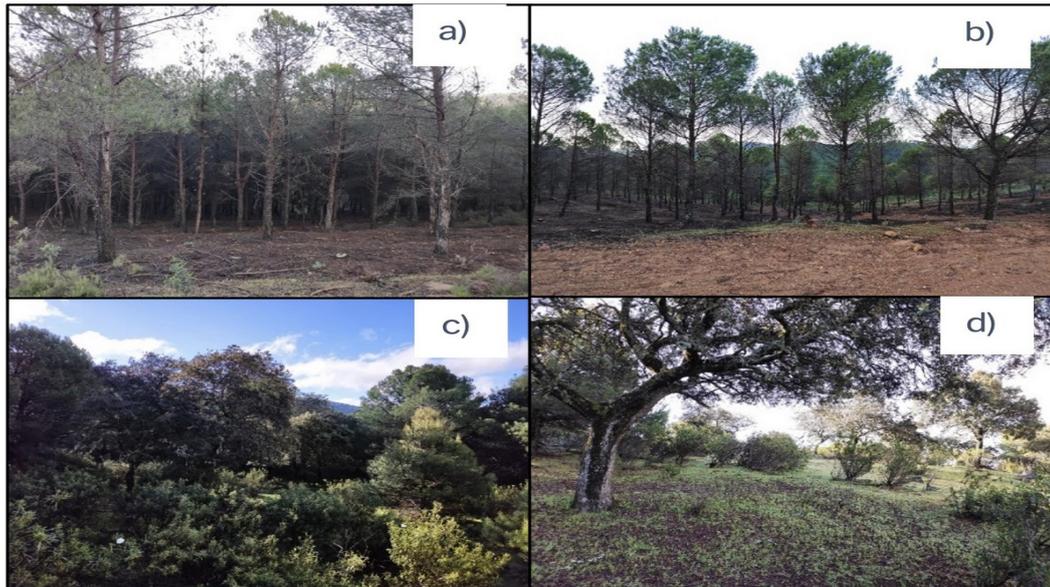


Figura 2. Estados selvícolas de las parcelas de monitoreo: a) repoblación de *P. pinea* sin tratamientos selvícolas, b) repoblación de *P. pinea* con claras recientes, c) masa mixta de *P. pinea* y *Q. ilex* tras claras antiguas, d) bosque mediterráneo natural o naturalizado.

El OBM se ha diseñado para abordar el seguimiento de los ecosistemas en Sierra Morena a múltiples escalas espaciales, comenzando desde una perspectiva macrosistémica hasta niveles más específicos y detallados. Cada nivel de escala se enfoca en objetivos particulares y emplea protocolos de seguimiento adaptados a las necesidades y características de cada contexto. El diseño multiescalar el OBM se organiza de la siguiente manera:

- Macrosistema: a este nivel espacial se trabaja a nivel de Sierra Morena, una unidad paisajística que abarca aproximadamente 400,000 hectáreas, se considera un macrosistema. Los objetivos de investigación se dirigen al monitoreo y simular el funcionamiento de los ecosistemas a gran escala y proveer información relevante para observatorios nacionales e internacionales.
- Estaciones de Monitoreo: se corresponden con zonas ecológicamente delimitadas, asimilables a microcuencas hidrográficas, con superficies de cientos de hectáreas. Los objetivos de investigación se centran en comprender los procesos ecohidrológicos y abordar problemas ambientales específicos.
- Ecosistemas Modelo: se corresponde con sistemas forestales específicos, como pinares, encinares, alcornocales o dehesas, entre otros, con superficies de monitoreo de alrededor de 1 hectárea. El objetivo es caracterizar en detalle el funcionamiento y dinámicas de tipos específicos de bosques.
- Parcelas de Sensorización Intensiva: se trata de parcelas de 500 m² dentro de cada ecosistema modelo, en las que se hace un monitoreo intensivo de árboles individuales y dirigidas a evaluar el impacto de las actividades de gestión.

La metodología seguida también incluye el desarrollo de gemelos digitales, que son representaciones virtuales de los ecosistemas monitorizados. Estos gemelos



digitales utilizan los datos recopilados por los sensores para simular diferentes escenarios de cambio global y estrategias de gestión y han sido desarrollados en entorno QGIS (QGIS.org, 2023, v.3.28, Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>). Esta capacidad de simulación es fundamental para prever los impactos potenciales de diversas intervenciones antes de su implementación en el campo.

4. Resultados

En el OBM colaboran 13 Grupos de Investigación (áreas AGR, FQM, RNM, TEP, TIC) de la Universidad de Córdoba, cada uno con un enfoque específico en diversas áreas críticas para la sostenibilidad de los ecosistemas mediterráneos, que han puesto en marcha las siguientes infraestructuras científicas:

- IFRDD IFN. Infraestructura de datos con georreferenciación de parcelas del Inventario Forestal Nacional a escala submétrica, digitalización de todos los datos de inventario forestal de ordenaciones forestales (CSyMA) en Sierra Morena y creación de repositorio para acceso a la información.
- IFRDD Red SEDA. Infraestructura de datos con georreferenciación de parcelas de la Red de equilibrios biológicos (CSyMA) en Sierra Morena a escala submétrica, caracterización biológica del suelo (flora fúngica, entomofauna) de parcelas y creación de un repositorio para acceso a la información.
- IFR FAUNA. Infraestructura de sensores para monitoreo de la Fauna terrestre mediante cámaras de fototrampeo, trampas de luz para fauna nocturna y monitoreo acústico.
- IFR CLIMA. Sistema de monitoreo de variables climáticas a nivel macrosistema mediante la instalación de estaciones o sensores como complemento a la Red Nacional a escala de Sierra Morena.
- IFRDD SATELITE. Infraestructura de datos procedentes de sensores espaciales (Programa COPERNICUS) para Sierra Morena y repositorio para acceso a la información.
- IFRDD SPECTRA-EMI. Infraestructura de datos procedentes de sensores espectrales de UAVs. Productos estacionales para la caracterización espectral de las estaciones de monitoreo intensivo del OBM.
- **trree**. Sistema de monitoreo de la producción de polen y esporas aerovagantes en Sierra Morena con captadores automáticos de detección de polen y esporas, identificación y recuento automático en las estaciones de monitoreo intensivo del OBM.
- IFR AER-EMI. Sistema de monitoreo de la calidad del aire y del agua en las estaciones de monitoreo intensivo del OBM y laboratorio portátil.
- IFR PHENON-EMI. Sistema de monitoreo de ciclos fenológicos de la vegetación en Sierra Morena mediante la instalación de sensores Phenocam y cámaras de alta resolución NDVI en las estaciones de monitoreo intensivo del OBM.
- IFR SOLUM-EMI. Sistema de monitoreo de la humedad del suelo mediante la instalación de red de sensores de humedad de suelo en las estaciones de monitoreo intensivo.
- IFR COELUM-EMI. Sistema de monitoreo de variables climáticas de interés en las estaciones de monitoreo intensivo.
- IFR FLUX-ECMD. Sistema de monitoreo del flujo gases vinculados a los procesos

de Cambio Global (aire, aire-suelo, suelo), mediante la instalación de Torre Eddy-Covarianza en Ecosistemas Modelo.

- IFRDD IGNIS-ECMD. Infraestructura de datos procedentes de parcelas permanentes para el seguimiento de la ocurrencia de incendios, dinámica del fuego y los procesos de regeneración post-incendio en los Ecosistemas Modelo.

- IFR SILVA-PSI. Sistema de monitoreo de la dinámica de la vegetación a nivel de individuo en parcelas de sensorización intensiva ubicadas en los Ecosistemas Modelo mediante sensores IoT (*Internet of things*) de flujo de savia, dendrómetros, sensores de humedad y temperatura del aire-suelo-madera, piranómetros y medidores LAI.

- IFRDD FOREST-PSI. Infraestructura de datos para el monitoreo de la dinámica de la vegetación a nivel de masa en parcelas de sensorización intensiva ubicadas en los Ecosistemas Modelo mediante la generación de datos de estructura (3D) obtenidos con equipos LIDAR terrestre que permitan el seguimiento del impacto de las actividades de gestión forestal y su modelización.

- IFR LUX. Sistema de monitoreo de contaminación lumínica y su influencia en el ciclo circadiano de especies de fauna y flora en Sierra Morena mediante la instalación de sensores de medición de la radiación provocada por luces LED (luz azul). Acción vinculada a la Reserva “Reserva Starlight” Sierra Morena.

- IFR ETV. Sistema de monitoreo de enfermedades transmitidas por vectores en animales desde una perspectiva One Health.

- NODO datos. Sistemas de recopilación de datos, encriptación de la información e infraestructura física de comunicaciones y almacenamiento del OBM.

En las Figuras 3 y 4 se presenta parte del despliegue de sensores del OBM:

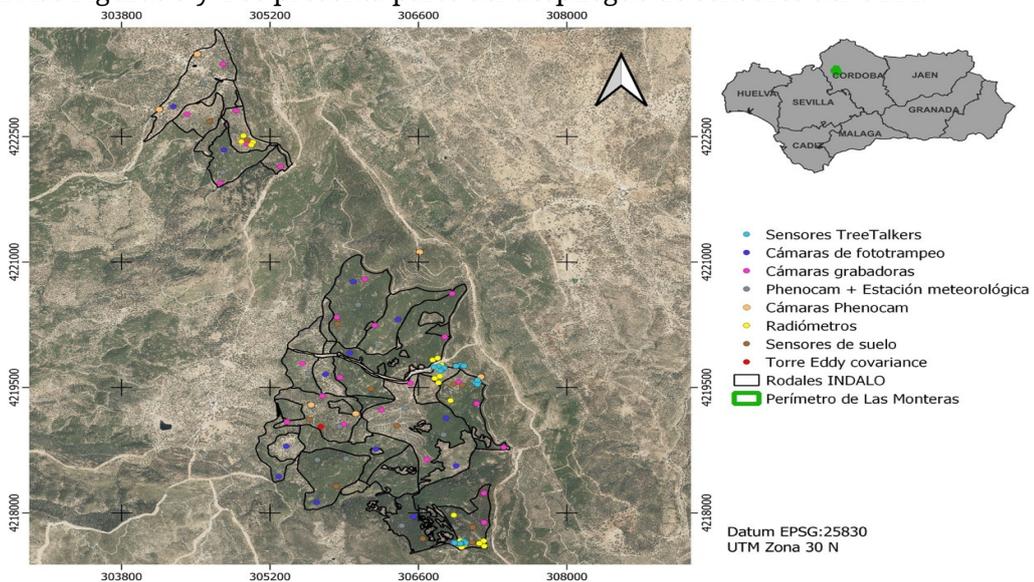


Figura 3. Ubicación de diferentes sensores instalados en el Observatorio de Cambio Global para el Bosque Mediterráneo (OBM).

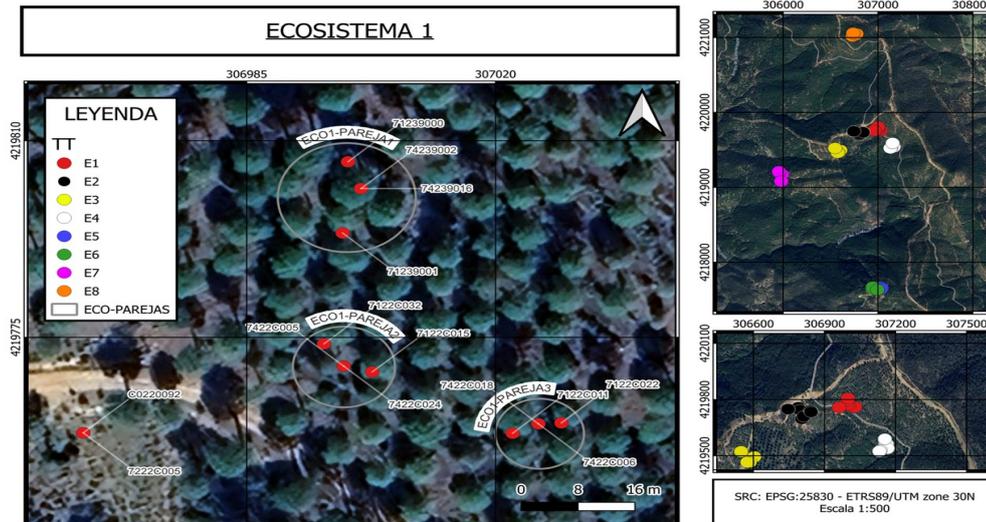


Figura 4. Detalle de ubicación de sensores de la IFR SILVA-PSI instalados en un Ecosistema Modelo del Observatorio de Cambio Global para el Bosque Mediterráneo (OBM).

Cada una de las infraestructuras de investigación implantadas generan datos que son utilizados en diferentes líneas de investigación alineadas con los objetivos del OBM. La integración de los datos recopilados por estas infraestructuras ha permitido la puesta en marcha de proyectos de investigación multidisciplinares que están generando importantes resultados relacionados con la identificación de patrones de adaptación en los Ecosistemas Modelo o el desarrollo de estrategias de manejo adaptativo a diferentes escalas.

Las figuras 5 y 6 muestran ejemplos de datos estructurales obtenidos mediante UAV (Vehículos Aéreos No Tripulados) y TLS (Sistemas de Escaneo Láser Terrestre) en algunos de los Ecosistemas Modelos del OBM. La integración de datos fisiológicos (Figura 7) con datos estructurales de alta precisión obtenidos mediante UAV y TLS representa un avance significativo en la comprensión de los ecosistemas vegetales. Los UAV permiten la captura de imágenes de alta resolución y datos espectrales sobre grandes extensiones de terreno, facilitando el monitoreo continuo y a gran escala de variables como el índice de área foliar (LAI) y la salud de la vegetación (Zarco-Tejada et al., 2014). Por otro lado, el TLS proporciona modelos tridimensionales detallados de la estructura interna de la vegetación, permitiendo un análisis preciso de la biomasa, la densidad de los árboles y la arquitectura de las copas (Calders et al., 2014). Al combinar estos enfoques, es posible correlacionar las características fisiológicas, como la fotosíntesis, la transpiración y el estado hídrico de las plantas, con su arquitectura estructural precisa, mejorando la comprensión de los procesos ecofisiológicos y su relación con las condiciones ambientales. Esta sinergia permite un análisis más profundo y escalable de las dinámicas del ecosistema, optimizando la evaluación de la salud vegetal, la productividad de los cultivos y la respuesta a factores ambientales, aspectos fundamentales para el desarrollo de estrategias de gestión sostenible de los recursos naturales en un contexto de cambio climático (Liang et al., 2016).



Figura 5. Imagen fotogramétrica obtenida de vuelo UAV de una masa de repoblación de Pinus pinea sometida a tratamientos selvícolas.



Figura 6. Nube de puntos procedente de Sistema Láser Terrestre (TLS) de una masa de repoblación de Pinus pinea sometida a tratamientos selvícolas.

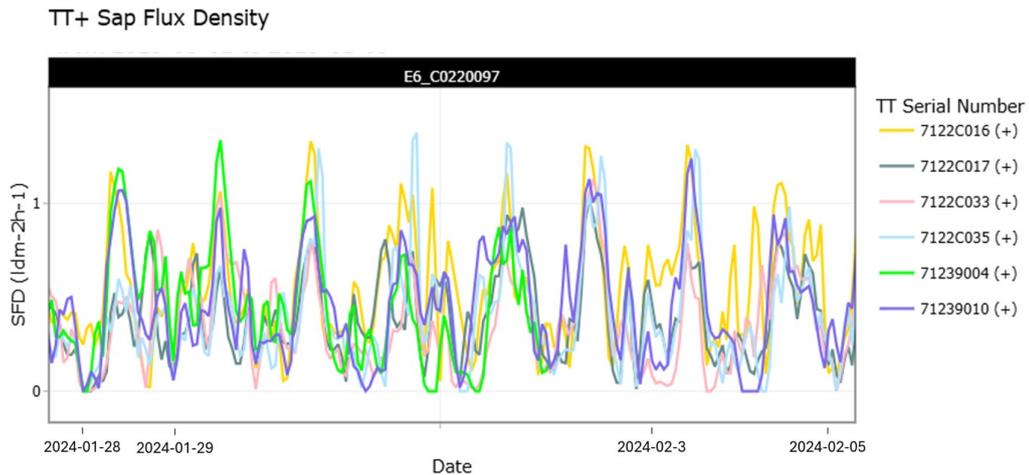


Figura 7. Datos de flujo de savia medidos mediante sensores IoT en árboles individuales de una masa de repoblación de *Pinus pinea* sometida a tratamientos selvícolas.

Actualmente, el OBM está desarrollando un gemelo digital en entorno QGIS (QGIS.org, 2023) que representa una réplica virtual de los ecosistemas monitorizados. Así, datos fenológicos, fisiológicos, hidrológicos, o de flujos de energía y materiales, entre otros, son complementados con datos físicos y estructurales de alta precisión, permitiendo recrear dinámicas y procesos que son implementados en el gemelo digital del OBM.

Este gemelo digital se basa en datos recopilados en tiempo real por la red de sensores desplegados en el terreno, que capturan variables de interés como temperatura, humedad, flujos de carbono y agua, fotosíntesis, radiación o diferentes variables hidrológicas, entre otros. El desarrollo e implantación del gemelo digital permitirá:

- Visualización y simulación: El gemelo digital proporcionará una plataforma para visualizar el estado actual del ecosistema y simular escenarios futuros bajo diferentes condiciones climáticas y de gestión forestal. Esto permitirá anticipar posibles impactos y probar estrategias de gestión antes de implementarlas en el campo.

- Integración de datos: Los datos recopilados por los sensores se integrarán en una base de datos centralizada, que alimentará el gemelo digital. Esta integración permite analizar las interacciones complejas entre diferentes variables ambientales y su impacto en el ecosistema.

- Adaptación en tiempo real: Con la capacidad de monitorear cambios en tiempo real, el gemelo digital permitirá proponer modificaciones de las estrategias de gestión forestal para responder a eventos climáticos extremos o cambios inesperados en el ecosistema.

5. **Discusión** El seguimiento de variables ambientales, fisiológicas y fisiológicas relacionadas con los bosques proporciona una información necesaria para apoyar las políticas y las prácticas de gestión dirigidas a proteger, conservar y gestionar de forma sostenible los recursos forestales y garantizar las diferentes funciones de los mismos (MacDicken, 2015). Se



necesita pues información precisa y estratégica sobre los recursos forestales para desarrollar estas políticas y el seguimiento debe hacerse a escala nacional para ayudar adecuadamente a las decisiones locales de gestión del territorio (Michener & Jones, 2012). Esta colaboración entre diferentes grupos de investigación ha generado un conocimiento integrado y multidisciplinar de los ecosistemas mediterráneos representados en el área de trabajo del OBM. La integración de datos fenológicos con los estudios de flujos de carbono y agua, por ejemplo, ha permitido una mejor comprensión de cómo los cambios estacionales afectan la capacidad del bosque para almacenar carbono. Esta colaboración multidisciplinar ha sido fundamental para identificar áreas prioritarias de intervención y conservación, así como nuevos esquemas de gestión forestal sostenible. El OBM ha establecido un repositorio de datos abiertos, accesible para la comunidad científica, que incluye datos sobre clima, hidrología, fisiología de las plantas, fenología y flujos de carbono y agua, entre otros. Este repositorio tiene como objetivos: - Fomentar la colaboración científica: Al proporcionar acceso libre a los datos, el OBM promueve la colaboración entre investigadores de diversas disciplinas y regiones, facilitando estudios comparativos y meta-análisis. - Mejorar la transparencia y reproducibilidad: La disponibilidad de datos abiertos mejora la transparencia de la investigación y permite la replicación de estudios, lo cual es fundamental para validar resultados científicos. - Impulsar la innovación: La accesibilidad a un conjunto de datos complementario y diverso fomenta la innovación en el análisis de datos y el desarrollo de nuevas metodologías para la gestión de ecosistemas. El gemelo digital del OBM representa una innovación clave para la gestión adaptativa de los ecosistemas mediterráneos. La capacidad de visualizar y simular diferentes escenarios en tiempo real mejora significativamente la toma de decisiones y la capacidad de respuesta ante eventos climáticos extremos. Este enfoque no solo optimiza la gestión forestal, sino que también incrementa la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático (Grimm et al., 2013). Este tipo de herramientas permiten a los gestores forestales predecir los efectos de diferentes estrategias de manejo antes de su implementación, reduciendo el riesgo de impactos negativos. Esta capacidad es particularmente valiosa en ecosistemas vulnerables como los mediterráneos, donde los cambios climáticos pueden tener consecuencias drásticas. Además, un gemelo digital también es una herramienta educativa de gran impacto, que puede ser utilizada para sensibilizar a la población, a los técnicos y gestores y a los responsables de políticas públicas sobre la importancia de la gestión sostenible. Proporciona una visualización tangible de cómo los ecosistemas pueden cambiar bajo diferentes escenarios de manejo, lo que puede facilitar la comprensión y el apoyo a prácticas de conservación. El OBM tiene previsto presentar su candidatura para ser reconocido como sitio LTER (Long Term Ecological Research), uniéndose a una red internacional de sitios de investigación dedicados a estudios ecológicos a largo plazo. LTER es una red global de sitios de investigación dedicados a estudios ecológicos a largo plazo. Al igual que el OBM, LTER enfatiza la importancia de los datos a largo plazo para entender los cambios en los ecosistemas (Callahan, 1984). La inclusión del OBM en esta red fortalecería sus capacidades de investigación al facilitar el intercambio de metodologías y datos comparativos. Esta



candidatura se basa en:1. Infraestructura robusta: El OBM cuenta con una infraestructura tecnológica avanzada, incluyendo la red de sensores y el gemelo digital, que lo posiciona como un sitio ideal para investigaciones a largo plazo.2. Colaboraciones internacionales: El OBM ya ha establecido colaboraciones con instituciones internacionales, lo que refuerza su capacidad para contribuir a la red LTER y beneficiarse de ella.3. Contribución al conocimiento global: La inclusión del OBM en la red LTER permitirá que sus datos y hallazgos contribuyan al entendimiento global de los impactos del cambio global en los ecosistemas mediterráneos. La candidatura del OBM para ser reconocido como un sitio de LTER refuerza su papel como un nodo clave en la red global de monitoreo ecológico. Esta integración no solo aumentaría la visibilidad internacional del OBM, sino que también proporcionaría acceso a recursos adicionales y oportunidades de colaboración que pueden mejorar significativamente sus capacidades de monitoreo y análisis. Además, como parte de LTER, el OBM podría beneficiarse del intercambio de conocimientos, metodologías y datos con otros sitios de investigación, lo que enriquecería sus enfoques y resultados (Jones & Driscoll, 2022). La inclusión en LTER también podría facilitar el acceso a financiamiento y apoyo técnico adicional, fortaleciendo la capacidad del OBM para llevar a cabo investigaciones a largo plazo y mantener su infraestructura tecnológica avanzada.

6. Conclusiones

La colaboración interdisciplinaria en el OBM ha permitido avances significativos en la comprensión y gestión de los ecosistemas mediterráneos. La integración de tecnologías avanzadas y datos abiertos promueve una gestión adaptativa y sostenible, esencial para enfrentar los desafíos del cambio global. Los resultados obtenidos subrayan la importancia de una colaboración continua y multidisciplinaria para garantizar la resiliencia de los ecosistemas mediterráneos.

Aún son muchos los desafíos para consolidar al OBM como iniciativa de referencia a nivel científico y de transferencia, pero la infraestructura científica desplegada, la implantación del repositorio de datos abiertos, y el próximo desarrollo del gemelo digital, junto con su candidatura a sitio LTER, pueden posicionar al OBM como una iniciativa de alto valor científico en la gestión de ecosistemas mediterráneos bajo el cambio global. La integración de estas herramientas y el fomento de colaboraciones internacionales contribuirá a mejorar la resiliencia y sostenibilidad de los ecosistemas mediterráneos, contribuyendo de manera significativa al conocimiento y la gestión global del cambio climático. Los próximos objetivos del OBM estarán orientados al desarrollo de modelos predictivos integrados que usen datos de todas las líneas de investigación para predecir respuestas ecosistémicas más integrales, así como el desarrollo de estrategias de mitigación implementando prácticas selvícolas y de gestión hídrica basadas en los datos obtenidos. Por último, la sensibilización, la educación y el fomento de participación ciudadana, apoyados en el uso del gemelo digital y los datos abiertos, se considera esencial para el éxito a largo plazo de las estrategias de conservación.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración al proyecto LifeWatch INDALO “Infraestructuras Científicas para la Vigilancia y Adaptación al Cambio Global en Andalucía” (LIFEWATCH-2019-04-AMA-01), así como a todos los grupos de investigación implicados en la iniciativa del Observatorio de Cambio Global para el Bosque Mediterráneo. También agradecen a la Consejería de Sostenibilidad y



Medio Ambiente de la Junta de Andalucía por su apoyo institucional y permitir el uso de la Finca las Monteras para la ubicación del Observatorio de Cambio Global para el Bosque Mediterráneo y sus parcelas de experimentación, así como al personal de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía por su implicación y apoyo a esta iniciativa.

8. Bibliografía

BLANCA, G.; CABEZUDO, B.; HERNÁNDEZ, J.E.; HERRERA, C.; MOLERO, J.; MUÑOZ J.; VALDÉS, B. 2000. Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. Tomo II: Especies vulnerables. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.

CALLAHAN, J. T. 1984. Long-term ecological research. *BioScience*, 34(6), 363-367.

CALDERS, K.; NEWNHAM, G.; BURT, A.; MURPHY, S.; RAUMONEN, P.; HEROLD, M.; CULVENOR, D.S.; AVITABILE, V.; DISNEY, M.I.; ARMSTON, J.; KAASALAINEN, M. 2014. Nondestructive estimates of above-ground biomass using terrestrial laser scanning. *Methods Ecol. Evol.*, 6(2), 198–208.

EUROPEAN COMMISSION. 2018. Turning FAIR into Reality: Final Report and Action Plan from the European Commission Expert Group on FAIR Data. Publications Office of the European Union.

JONES, J.A.; DRISCOLL, C.T. 2022. Long-Term Ecological Research on Ecosystem Responses to Climate Change. *BioScience*, 72(9), 814–826.

GRIMM, N. B.; CHAPIN III, F.S.; BIERWAGEN, B.; GONZALEZ, P.; GROFFMAN, P.M.; LUO, Y.; MELTON, F.; NADELHOFFER, K.; PAIRIS, A.; RAYMOND, P.A.; SCHIMEL, J.; WILLIAMSON, C.E. 2013. The impacts of climate change on ecosystem structure and function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(9), 474-482.

LIANG, X.; KANKARE, V.; HYYPPÄ, J.; WANG, Y.; KUKKO, A.; HAGGRÉN, H.; XIAOWEI YU, X.; KAARTINEN, H.; JAAKKOLA, A.; GUAN, F.; HOLOPAINEN, M.; VASTARAN, M. 2016. Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 63-77.

LIFEWATCH ERIC. 2020. Strategic Plan 2020-2027: A European Infrastructure for Biodiversity and Ecosystem Research. LifeWatch ERIC. (Disponible en <https://www.lifewatch.eu>).

LIFEWATCH ERIC. 2021. LifeWatch ERIC: Open Access Policy. LifeWatch ERIC. (Disponible en <https://www.lifewatch.eu/policy-makers/>).

MACDICKEN, K. G. 2015. Global Forest resources assessment 2015: what, why and how?. *Forest Ecology and Management*, 352, 3-8.

MICHENER, W. K.; JONES, M. B. 2012. Ecoinformatics: Supporting ecology as a data-intensive science. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(2), 85-93.

PEÑUELAS, J.; SARDANS, J. 2021. Global change and forest disturbances in the Mediterranean basin: Breakthroughs, knowledge gaps, and recommendations. *Forests*, 12(5), 603.

ZARCO-TEJADA, P. J.; BERNI, J. A. J.; SUÁREZ, L.; SEPULCRE-CANTÓ, G.; MORALES, F.; MILLER, J. R. 2014. Imaging chlorophyll fluorescence with an airborne narrow-band multispectral camera for vegetation stress detection. *Remote Sensing of Environment*, 113(6), 1262-1275.